

Espen T. Torsvik

# Ombruk av kontorbygningers bæresystemer

Utvikling av verktøy for vurdering av bæresystemers ombrukspotensiale

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Rolf André Bohne

Juni 2021



Espen T. Torsvik

# **Ombruk av kontorbygningers bæresystemer**

Utvikling av verktøy for vurdering av bæresystemers  
ombrukspotensiale

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk  
Veileder: Rolf André Bohne  
Juni 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Kunnskap for en bedre verden



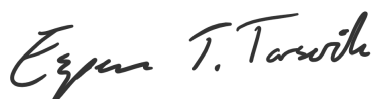
## Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet våren 2021, som en del av det femårige masterstudiet Bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Oppgaven er utført ved Institutt for bygg- og miljøteknikk (IBM) og er vektet 30 studiepoeng. Oppgaven faller innunder fordypningsretningen Bygnings- og materialteknikk.

Masteroppgaven går i dybden på ombruk i byggebransjen. Tema vakte stor nysgjerrighet og interesse hos undertegnede i forkant av masteroppgaven, og ble derfor valgt fokusområde. Oppgaven er uavhengig av aktører og interessenter, men gode innspill er mottatt fra sentrale skikkelser innen fagfeltet.

Jeg vil rette en takk til min veileder Rolf André Bohne, for veiledning, inspirasjon og engasjement gjennom semesteret. En takk går også ut til Veidekke AS, Siemens AS, Norconsult AS og Karl Knudsen AS, for innsyn i dokumenter vedrørende de to casebyggene i oppgaven. I tillegg vil jeg takke Norsk forening for farlig avfall, for tilgang på deres klassifiseringsverktøy for farlig avfall. Avslutningsvis vil jeg takke mine medstudenter på kontoret, for hverdager fylt med lærerike, støttende og latterlige samtaler.

Trondheim, 7. juni 2021



---

Espen T. Torsvik



## Sammendrag

Innen 2030 må verdens utslipp reduseres med 40-50 prosent i forhold til 2010 for å unngå en global temperaturøkning på over 1,5°C. Kloden har en begrenset mengde ressurser. Med dagens bruk-og-kast-mentalitet vil dette resultere i ressursmangel. Ressursutnyttelse står for halvparten av verdens klimagassutslipp, og byggebransjen står igjen for 40 prosent av disse. Gjennom overgang til en sirkulærøkonomisk modell har byggebransjen stort potensial for å redusere sitt ressursbehov. I et slikt system utnyttes naturressurser og produkter effektivt i et kretsløp hvor minst mulig ressurser går tapt.

Ombruk er ny utnyttelse av et produkt eller et materiale i dets opprinnelige form, og havner naturlig innunder et sirkulærøkonomisk system. Hovedmålet med denne masteroppgaven er å avdekke status for ombruk av bygningsmaterialer i Norge i dag, og på bakgrunn av dette foreslå hvordan ombruk best kan bidra til klimagassreduksjoner i byggebransjen. For å oppnå dette er det satt fire delmål. De to første skal sammen sørge for en oversikt over dagens ombrukssituasjon i Norge og avdekke eventuelle satsingsområder for effektive klimagassreduksjoner. De to siste skal utvikle et verktøy for å utnytte avdekket satsingsområde og teste dette gjennom to casestudier.

For å oppnå målene satt for oppgaven, er det utført et omfattende litteraturstudie. Gjennom analyse av litteraturen framgikk det at ombruk er lite utbredt grunnet en rekke barrierer knyttet til markedsmessige, organisatoriske, tekniske og juridiske aspekter. Dagens regelverk kompliserer omsetning av ombruksmaterialer, og lokalt ombruk fremstår som mest gunstig. Det vises til at ombruk basert på vekt gir store klimagassbesparelser. Med bakgrunn i dette understrekes det at potensialet er stort for tyngre bygningsdeler, som demonterbare konstruktive elementer. Lokalt ombruk av ikke-demonterbare bæresystemer er derimot lite omtalt og er dermed valgt som fokusområde for denne oppgaven.

Spesielt kontorbygg er identifisert til å ha stort potensiale for ombruk grunnet gunstige organisatoriske og bygningsmessige forhold, samtidig som de utgjør en vesentlig del av bygningsmassen. I tillegg rives ofte kontorbygg før deres tekniske levetid er nådd da de ikke lenger oppfyller tekniske krav eller brukerens krav. I denne oppgaven er det utviklet et verktøy for å bidra i beslutningsprosessen ved vurdering av riving eller bevaring av kontorbygningers bæresystem. Både praktiske og miljømessige hensyn er vektlagt med hovedfokus på endringsdyktighet. Endringsdyktige bygninger defineres som bygninger som kan tilpasses annen bruk enn det som var tiltenkt da bygget ble planlagt og oppført. Verktøyet er bygget opp som et beslutningstre hvor 15 kriterier må vurderes. Oppfyllelse av majoriteten av kriteriene tilsier at bæresystemet har stort ombrukspotensiale. I motsatt tilfelle må tiltak iverksettes, byggets brukere endres eller kontorbygget avhendes.





# Abstract

The world's greenhouse gas emissions must be reduced by 40-50 percent compared to 2010, by 2030, to avoid a global temperature rise of 1,5 degrees celsius. Earth has a limited amount of resources, which will lead to scarcity if today's exploitation of natural resources carries on. Resource exploitation accounts for half of the world's greenhouse gas emissions, and the building industry accounts for 40 percent of these. By introducing a circular economic model, the building industry has enormous potential to reduce its consumption. A circular economic model is the idea of a system that uses materials and products effectively until they end up as resources instead of waste at the end of their lifetime.

Reuse of building materials is when a product or a material is used again, in its original state, and falls naturally within a circular economic model. The main goal of this master's thesis is to discover the status of reuse of building materials in Norway, and based on this propose how reuse best can contribute to a reduction of greenhouse gas emissions in the building sector. To achieve this, four sub-objectives have been set. The first two will provide an overview of the status for reuse in Norway and determine a focus area for effective reductions of greenhouse gas emissions. The last two will develop a tool to reduce emissions from the identified focus area.

A thorough literature review is conducted to achieve the objectives of this master's thesis. An analysis of the literature showed that reuse is not widespread due to several barriers related to market, organizational, technical, and legal aspects. Today's regulations complicate the sale of reused materials, and local reuse appears as the most favorable. The literature specifies that reuse based on weight provides large greenhouse gas savings. Based on this, demountable, heavy structural elements are identified to have a big potential for reuse. However, local reuse of non-demountable support systems is little mentioned and is thus chosen as the focus area for this task.

Office buildings, in particular, are identified as having great potential for reuse due to favorable organizational and building conditions and because they make up a significant amount of the building stock. In addition, office buildings are often demolished before their technical service life is reached as they no longer meet technical requirements or the user's requirements. In this thesis, a tool is developed to contribute to the decision-making process when assessing whether an office buildings' load-bearing system should be demolished or preserved through renovation. Both practical and environmental considerations are emphasized with the main focus on adaptability. Adaptability refers to a building's capacity to accommodate substantial change. The tool is structured as a decision tree where 15 criteria must be considered. The fulfillment of a majority of the criteria indicates that the support system has great reuse potential. Otherwise, measures must be implemented, the building's users changed or the office building demolished.



# Innholdsfortegnelse

<b>Forord</b>	<b>i</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract</b>	<b>v</b>
<b>Figurliste</b>	<b>xi</b>
<b>Tabelliste</b>	<b>xiii</b>
<b>Begreper</b>	<b>xv</b>
<b>1 Introduksjon</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn . . . . .	1
1.2 Formål og problemstilling . . . . .	2
1.3 Omfang og avgrensninger . . . . .	2
1.4 Rapportens oppbygging . . . . .	3
<b>2 Teori</b>	<b>5</b>
2.1 Miljøproblematikk . . . . .	5
2.1.1 Klimakrisen . . . . .	5
2.1.2 Tiltak for bærekraftig utvikling . . . . .	5
2.1.3 Byggebransjens miljøpåvirkning . . . . .	9
2.2 Sirkulærøkonomi . . . . .	11
2.2.1 Sirkulærøkonomi i byggebransjen . . . . .	12
2.2.2 Status for byggeavfall i Norge . . . . .	13
2.2.3 Avfallshierarkiet . . . . .	13
2.3 Ombruk i byggebransjen . . . . .	14
2.3.1 Hvorfor ombruk? . . . . .	14
2.3.2 Ombruk i Norge . . . . .	15
2.3.3 Barrierer for ombruk . . . . .	16
2.3.4 Regelverk . . . . .	17
2.3.5 Tiltak for økt ombruk i dag . . . . .	19
2.3.6 Tiltak for økt ombruk i fremtiden . . . . .	21
2.4 Bygninger egnet for bevaring, ombygging og ombruk . . . . .	22
2.4.1 Levetidsbetraktninger . . . . .	23
2.4.2 Sirkulære bygninger . . . . .	24
2.4.3 Arkitektoniske stilarter fra 1945 til 1995 . . . . .	27
2.4.4 Ombrukspotensiale i kontorbygg . . . . .	28
2.5 Endringsdyktighet . . . . .	31
2.5.1 Fleksibilitet . . . . .	31
2.5.2 Generalitet . . . . .	31
2.5.3 Elastisitet . . . . .	31
2.6 Vurderingskriterier for rehabilitering framfor riving . . . . .	32
2.6.1 Tomt . . . . .	32
2.6.2 Estetikk . . . . .	32
2.6.3 Bygningens mål . . . . .	32

2.6.4	Bæresystem . . . . .	34
2.6.5	Fasade . . . . .	34
2.6.6	Innvendige vegger . . . . .	35
2.6.7	Himling . . . . .	35
2.7	Prinsipper for endringsdyktighet oppsummert . . . . .	35
2.8	Materialer og komponenter egnet for ombruk . . . . .	36
2.8.1	Generelt . . . . .	36
2.8.2	Lastbærende elementer i stål . . . . .	38
2.8.3	Betong . . . . .	39
<b>3</b>	<b>Metode</b>	<b>43</b>
3.1	Tilnærming til metode . . . . .	43
3.1.1	Reliabilitet og validitet . . . . .	43
3.2	Litteraturstudie . . . . .	44
3.2.1	Systematisk søk . . . . .	45
3.2.2	Snøball-metoden . . . . .	46
3.2.3	Evaluering av litteratur . . . . .	46
3.2.4	Eksisterende litteratur om ombruk av byggematerialer . . . . .	46
3.2.5	Reliabilitet og validitet . . . . .	46
3.3	Verktøy for vurdering av bæresystemers ombrukspotensiale . . . . .	47
3.3.1	Bakgrunn og formål . . . . .	47
3.3.2	Beslutningstreet . . . . .	49
3.3.3	Forklaring til beslutningstreet . . . . .	52
3.4	Casestudier . . . . .	54
3.5	Evaluering av metoden . . . . .	55
<b>4</b>	<b>Presentasjon av casebyggene</b>	<b>57</b>
4.1	MAX-bygget . . . . .	57
4.1.1	Tomt . . . . .	57
4.1.2	Arkitektur . . . . .	58
4.1.3	Konstruksjon . . . . .	58
4.1.4	Miljø . . . . .	60
4.2	Siemensblokken . . . . .	61
4.2.1	Tomt . . . . .	61
4.2.2	Arkitektur . . . . .	61
4.2.3	Konstruksjon . . . . .	62
4.2.4	Miljø . . . . .	63
<b>5</b>	<b>Resultater</b>	<b>65</b>
5.1	Vurdering rundt bevaring av bæresystem for MAX-bygget . . . . .	65
5.1.1	Beslutningstre for MAX-bygget . . . . .	66
5.1.2	Forklaring til beslutningstre . . . . .	68
5.1.3	Oppsummering MAX-bygget . . . . .	69
5.1.4	Anbefaling MAX-bygget . . . . .	70
5.2	Vurdering rundt bevaring av bæresystem for Siemensblokken . . . . .	70
5.2.1	Beslutningstre for Siemensblokken . . . . .	72
5.2.2	Forklaring til beslutningstre . . . . .	74
5.2.3	Oppsummering Siemensblokken . . . . .	76
5.2.4	Anbefaling for Siemensblokken . . . . .	76

<b>6</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>77</b>
6.1	Nødvendighet og hensikt . . . . .	77
6.2	Prosesen bak . . . . .	78
6.3	Resultatet . . . . .	79
6.4	Anvendelsesområde og begrensninger . . . . .	79
<b>7</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>81</b>
7.1	Anbefalinger for veien videre . . . . .	82
	<b>Referanser</b>	<b>83</b>
	<b>Vedleggsliste</b>	<b>I</b>
<b>A</b>	<b>Søketreffstatistikk</b>	<b>I</b>
A.1	Statistikk for databasesøk . . . . .	I
A.2	Søkestrender . . . . .	III



# Figurliste

2.1	Utslipp knyttet til materialproduksjon . . . . .	6
2.2	Fordeling av materialers klimagassutslipp i 2015 . . . . .	6
2.3	FNs bærekraftsmål . . . . .	7
2.4	Observert global temperaturendring i °C og modellert respons til illustrerte framtidige menneskeskapte klimagassutslipp og strålingspådriv. . . . .	9
2.5	Endring i globale trender og drivere i byggebransjen . . . . .	10
2.6	Klimagassutslipp fra norsk bygg- og anleggssektor inkludert import . . . . .	11
2.7	Prinsipiell illustrasjon av lineær- og sirkulærøkonomi . . . . .	12
2.8	Avfallspyramiden . . . . .	13
2.9	Illustrasjon av de viktigste komponentene i et materialpass . . . . .	23
2.10	Typisk lagdeling basert på levetider . . . . .	24
2.11	Kvantitative krav til ombruk og ombrukbarhet for sirkulære bygg . . . . .	26
2.12	Arkitektoniske stilarter fra 1945 til 1995 . . . . .	29
2.13	Fordeling av oppvarmet areal etter bygningstype og bygningsperiode for private bygg . . . . .	30
2.14	Prinsippskisse med typiske høydebehov . . . . .	33
2.15	Avfallsmengder fra rehabiliterings- og rivingsprosjekter i 2019 . . . . .	37
3.1	Stegvis framgangsmetode i arbeidet med oppgaven . . . . .	44
3.2	Validitet og relabilitet . . . . .	44
3.3	Eksempel på søkeprosedyre . . . . .	45
3.4	Ombruk kombinert med andre relevante søkeord . . . . .	46
3.5	Konseptuell fremstilling av en bygnings tilstand . . . . .	48
3.6	En konstruksjons kvalitet og funksjon sett i et levetidsperspektiv . . . . .	49
3.7	Beslutningstre (del 1) . . . . .	50
3.8	Beslutningstre (del 2) . . . . .	51
4.1	MAX-bygget før totalrenovering . . . . .	57
4.2	Tomt med eksisterende bygg (MAX-bygget) . . . . .	58
4.3	Original skisse av oppbyggingen av MAX-byggets bæresystem fra Byggkonsults konstruksjonsberegninger, datert 1986 . . . . .	59
4.4	Siemensbygget før riving . . . . .	61
4.5	Tomt med eksisterende bebyggelse (Siemensblokken) . . . . .	62
4.6	Originalt snitt av vestvendt fasade. Tegnet av Proton AS i 1961 . . . . .	63
5.1	Beslutningstre for MAX-bygget (del 1) . . . . .	66
5.2	Beslutningstre for MAX-bygget (del 2) . . . . .	67
5.3	Beslutningstre for Siemensblokken (del 1) . . . . .	72
5.4	Beslutningstre for Siemensblokken (del 2) . . . . .	73
A.1	Søktrend for ombruk . . . . .	III
A.2	Søktrend for ombruk sammenlignet med gjenbruk . . . . .	III





## Tabelliste

2.1	Sammenstilling av avfallsmengder i 2016 og estimert mengde materialer produsert og importert til Norge hvert år . . . . .	15
2.2	Typisk lagdeling med tilhørende levetider . . . . .	23
3.1	T-O-N-E-prinsippet . . . . .	47
4.1	Oversikt over kritiske faktorer knyttet til konstruksjonen og deres verdier for MAX-bygget . . . . .	59
4.2	Oversikt over kritiske faktorer knyttet til konstruksjonen og deres verdier for Siemensblokken . . . . .	63
A.1	Antall treff i aktuelle databaser for utvalgte søkeord. . . . .	II



# Begreper

Følgende definisjoner er sentrale for oppgaven:

Avfallsreduksjon	Reduksjon av avfall gjennom mindre forbruk, endrede produksjonsprosesser og bedre utnyttelse av råvarer, materialer og energi (SINTEF Byggforsk, 2015).
Deponering	Endelig anbringelse av avfall på fyllplass (SINTEF Byggforsk, 2015).
Design for demontering	Design av produkter og/eller bygg med tanke på enkel demontering, for eksempel ved å velge skrudde forbindelser (Widenoja mfl., 2018).
Endringsdyktige bygg	Bygg som kan tilpasses annen bruk enn det som var tiltenkt da bygget ble planlagt og oppført (Leland, 2008).
Energiutnyttelse	Utnyttelse av energien i avfallet gjennom forbrenning, pyrolyse e.l. (Statsbygg, 2002a).
Gjenbruk	Nyttiggjøring av materialer og andre restprodukter ved ombruk eller materialgjenvinning (SINTEF Byggforsk, 2015).
Gjenvinning	Nyttiggjøring av avfall og andre restprodukter. Inndeles i ombruk, materialgjenvinning og energiutnyttelse (SINTEF Byggforsk, 2015).
Materialbanker	Byggverk sees på som midlertidig oppbevaring av materialer og produkter, som er verdier for senere bruk. (Widenoja mfl., 2018)
Materialgjenvinning	Utnyttelse av avfall slik at materialet beholdes helt eller delvis (SINTEF Byggforsk, 2015).
Ombruk	Ny utnyttelse av et produkt eller materiale i dets opprinnelige form (SINTEF Byggforsk, 2015).

Rehabilitering	Istandsetting og/eller oppgradering av eksisterende bygning på samme tomt (Widenoja mfl., 2018).
Resirkulering	Tilbakeføring av materiale i en industriell prosess (SINTEF Byggforsk, 2015).
Selektiv riving	En rivemetode der materialer/bygningsdeler demonteres og avfall sorteres med henblikk på størst mulig ombruk og gjenvinning og minst mulig til deponering (Statsbygg, 2002a).
Vesentlige egenskaper	De egenskaper som gjelder de syv grunnleggende krav til byggverk, i henhold til Byggevareforskriften av 2014: mekanisk motstandsevne og stabilitet, brannsikkerhet, hygiene, helse og miljø, sikkerhet og tilgjengelighet ved bruk, vern mot støy, energiøkonomisering og varmeisolering, bærekraftig bruk av naturressurser (Widenoja mfl., 2018).

# 1 Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn

I 2018 publiserte FNs klimapanel (IPCC) en rapport som konkluderte at verdens klimagassutslipp må reduseres med 40 til 50 prosent i forhold til 2010 innen 2030 for at verden skal unngå fatale konsekvenser som følge av menneskeskapt utslipp (IPCC, 2018). Byggebransjen er den største forbrukeren av råmaterialer og står for 38 prosent av verdens CO<sub>2</sub>-utslipp (IRP, 2020; UNEP, 2020).

Dagens byggebransje baserer seg på et lineært vugge-til-grav-system, hvor materialer og komponenter, etter endt livsløp, ender opp som avfall på deponi eller inngår i energiutnyttelse. En sirkulærøkonomisk modell er derimot et vugge-til-vugge-system hvor materialer og komponenter bearbeides og gjeninnføres i et lukket kretsløp. Bygg- og anleggsbransjen er den største enkeltkilden til avfall i Norge, og det anslås at så mye som halvparten av en bygnings påvirkning på klima skyldes materialbruken. Bransjen kan dermed oppnå store miljøbesparelser ved økt bruk av sirkulære materialer og materialer som egner seg for reparasjon og ombruk (Deloitte, 2020).

Både EU og den norske regjering har besluttet å jobbe mot å fremme et mer sirkulærøkonomisk samfunn (EU-delegasjonen, 2015). Gjennom *EUs rammedirektiv for avfall* har Norge forpliktet seg til å arbeide med omstilling til en sirkulær økonomi. Rammedirektivet satte mål om “70 prosent forberedelse til ombruk og materialgjenvinning innen 2020” (Klima- og miljødepartementet, 2016). Utover dette har regjeringen gjennom Granvolden-plattformen besluttet at Norge skal være et foregangsland i utviklingen av grønn, sirkulærøkonomi som utnytter ressursene bedre (Regjeringen, 2019).

Norsk rive- og gjenvinningsbransje har gjennomgått store endringer de siste 20 årene. Økende krav til sortering på byggeplass og forbud mot deponering av organisk avfall, har økt gjenvinningsgraden betraktelig. Det er imidlertid ikke registrert noen økning i ombruk av byggevarer (Nordby og Wærner, 2017). En av de store barrierene for økt ombruk er dagens normer og regler, samt et godt etablert lineært system. Etersom bransjen må starte overgangen allerede nå for å imøtekomme nasjonale og internasjonale målsettinger om redusert ressursforbruk og klimagassutslipp, må man finne muligheter innenfor dagens rammer. Samtidig må bransjen jobbe aktivt mot å utfordre det lineære systemet slik at bransjen på sikt kan legges om.

Utgangspunktet for denne oppgaven er å undersøke hvordan ombruk effektivt kan fremmes i dagens byggebransje. Det rives omkring 22.000 bygg i Norge på årsbasis (Grønn Byggallianse, 2019). Umiddelbare tiltak er nødvendig for å redusere avfallsmengdene det produserer og samtidig redusere klimagassutslipp forbundet med nybygg.

## 1.2 Formål og problemstilling

Hovedformålet med oppgaven er å *avdekke status for ombruk av bygningsmaterialer i Norge i dag, og på bakgrunn av dette foreslå hvordan ombruk best kan bidra til klimagass-reduksjoner byggebransjen*. Problemstillingen er dermed todelt der første del er problemidentifiserende og andre del er problemløsende. Hovedmålet er delt inn i følgende fire delmål:

1. Avdekke status på ombruk i dagens byggebransje i Norge.
2. Foreslå satsingsområde for effektiv reduksjon av klimagassutslipp ved ombruk.
3. Lage et verktøy for å utnytte foreslått satsingsområde.
4. Teste og videreutvikle verktøyet gjennom to casestudier.

## 1.3 Omfang og avgrensninger

Arbeidet med masteroppgaven går over 21 uker. Dette medfører behov for å avgrense oppgaven. I forkant av masteroppgaven ble det utarbeidet en prosjektoppgave. Prosjektoppgaven benyttet seg av litteratur for å avdekke ombrukspotensiale for typiske materialgrupper. Litteraturen pekte mot at byggevarer er egnet for ombruk dersom de er av god kvalitet, har lang levetid, tåler gjentatt montering og demontering og ikke inneholder helse- og miljøskadelige stoffer. Spesifikt er konstruktive elementer i stål, betong og treverk godt egnet. Enten ved demontering og bruk annesteds, eller ved direkte ombruk i rehabiliteringsprosjekter. Dette ligger til grunn for masteroppgaven, som fokuserer på ombruk av bæresystemer i rehabiliteringsprosjekter.

Masteroppgaven - herunder med foreslått satsingsområde for effektiv reduksjon av klimagassutslipp og utvikling av verktøy - baserer seg på datainnsamling fra litteraturstudie. Ingen aktører fra bransjen har i særlig grad kommet med tilbakemeldinger til arbeidet med masteroppgaven. Dette utgjør en begrensende faktor da subjektiv tolkning av litteratur kan ha stor innvirkning på resultatene. Verktøyet er videre utviklet gjennom to casestudier. Praktiske løsninger og økonomiske aspekter ved bruk av verktøyet er i liten grad omtalt i denne oppgaven.

## 1.4 Rapportens oppbygging

Oppgaven har følgende oppbygging:

<b>1 Innledning</b>	Innledningen inneholder bakgrunnsinformasjon for å presentere relevansen av tema, samt spesifisering av oppgaven, dens omfang og avgrensninger.
<b>2 Teori</b>	Teoridelen starter med redegjørelse av klima- og miljøutfordringer med utgangspunkt i omfattende, anerkjente rapporter. Sirkulærøkonomi i byggebransjen presenteres med både muligheter og dagens utfordringer. Ombruk i byggebransjen, som er tema for oppgaven, står sentralt videre i teoridelen.
<b>3 Metode</b>	Metodekapittelet beskriver hvilken metode som er benyttet for å besvare problemstillingen i oppgaven.
<b>4 Presentasjon av casebyggene</b>	Relevant informasjon om to nøye utvalgte bygninger presenteres.
<b>5 Resultater</b>	Kapittelet inneholder resultater fra casestudiene.
<b>6 Diskusjon</b>	Inneholder diskusjon omkring egenutviklet verktøy. Nødvendigheten av dette, prosessen bak, resultatet, anvendelsesområde og begrensninger.
<b>7 Konklusjon</b>	Under konklusjon oppsummeres rapporten og de funn som er gjort.
<b>Vedlegg</b>	Vedleggene skal bidra med utfyllende informasjon der dette er hensiktsmessig.





## 2 Teori

### 2.1 Miljøproblematikk

#### 2.1.1 Klimakrisen

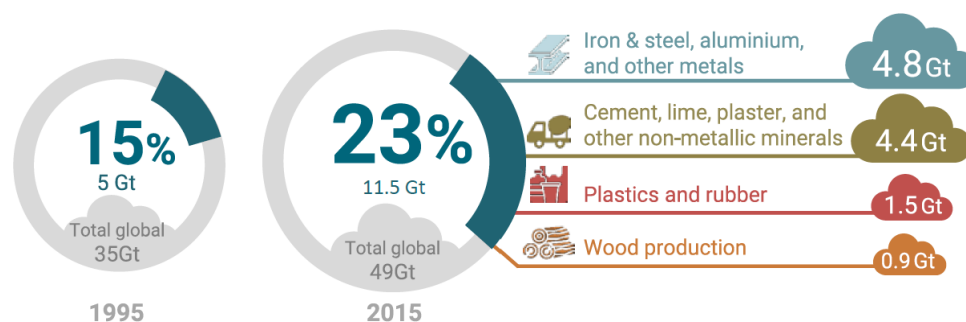
Menneskeskapte klimaforandringer er med stor sannsynlighet den største utfordringen kloden står overfor i dag. Siden førindustriell tid og frem til 2018 har temperaturen på jorden steget med  $1^{\circ}\text{C}$ . Sannsynligvis vil temperaturen øke med  $1,5^{\circ}\text{C}$  mellom 2030 til 2052 hvis den fortsetter å stige i samme hastighet. I IPCC (2018) sin *Special Report* går det fram at det etter kjemiens og fysikkens lover er mulig å begrense global oppvarming til  $1,5^{\circ}\text{C}$ , men at dette vil kreve enestående omstillinger i alle deler av samfunnet. Hvis menneskeskapte utslipp skulle stoppe i dag, vil kloden sannsynligvis ikke oppleve mer enn  $0,5^{\circ}\text{C}$  temperaturstigning de neste to-tre tiårene. Hvis en slik drastisk omstilling ikke er på plass innen 2030, vil jorden oppleve en temperaturøkning på over  $1,5^{\circ}\text{C}$ . Med dette følger irreversible tap av de mest skjøre økosystemer, og kriser vil ramme de mest utsatte mennesker og samfunn verden over.

En begrensning av temperaturøkningen til  $1,5^{\circ}\text{C}$  mot  $2^{\circ}\text{C}$  vil ha klare fordeler. Det vil blant annet føre til 0,1 meter mindre havnivåstigning innen 2100 og føre til at ti millioner færre mennesker mister hjemmene sine grunnet havstigningen. Halvparten så mange dyr, planter og virveldyr vil miste 50 prosent av habitatene sine, 50 prosent mindre landareal vil gjennomgå endring i økosystemet og tining av opp til 2,5 millioner kvadratkilometer tundra kan unngås. Påvirkningen på verdens hav er allerede betydelig. Havet absorberer store deler av  $\text{CO}_2$ -utslippet vårt. Dette har ført til en økning i pH på 0,1, noe som korresponderer med en økning på 26 prosent syrlighet. I tillegg har temperaturen økt og oksygenkonsentrasjonen minket. Det antas at en temperaturøkning på  $2^{\circ}\text{C}$  vil føre til et tap av over 99 prosent av verdens korallrev og irreversible tap i maritimt liv (IPCC, 2018).

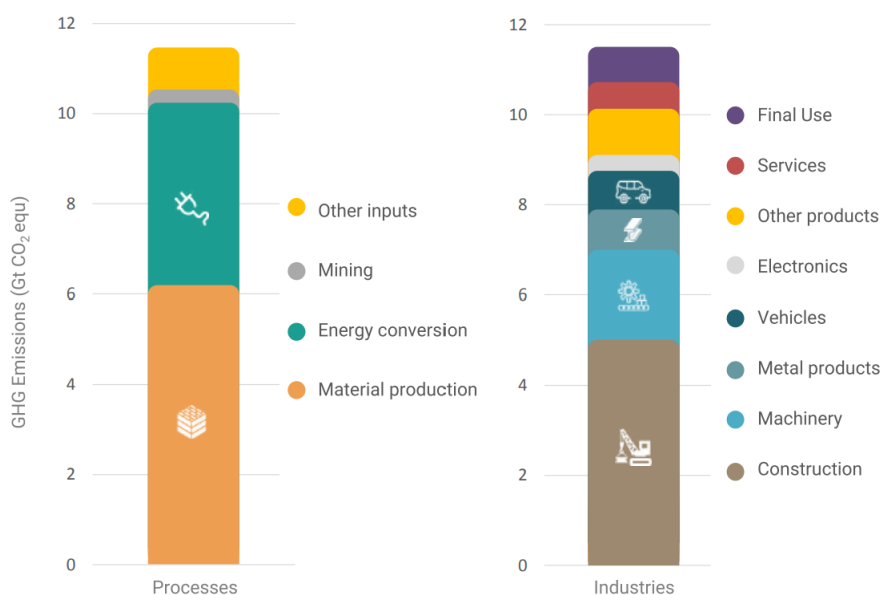
En av de sentrale driverne for menneskeskapte klimaendringer er utvinning og prosessering av klodens naturressurser. På dette området har byggebransjen stor påvirkningskraft og følgelig et stort ansvar for bærekraftig utvikling. International Resource Panel (IRP) har siden 2007 produsert forskning for å fremme bærekraftig bruk av verdens ressurser. Funn viser at ressursutnyttelse og prosessering kan knyttes til 90 prosent av tapet av biologisk mangfold og halvparten av verdens klimagassutslipp. Utslippet knyttet til materialproduksjon har mer enn doblet seg fra 5 Gt  $\text{CO}_2$ -ekvivalenter i 1995 til mer enn 11 Gt  $\text{CO}_2$ -ekvivalenter i 2015. I 2015 utgjorde dette 23 prosent av verdens utslipp. Materialene som forurenset mest var jern og stål med 32 prosent, sement, kalk og gips med 25 prosent, gummi og plast med 13 prosent og andre ikke-metalliske mineraler med 13 prosent. Dette er presentert i Figur 2.1. Overordnet er det estimert at byggebransjen og industrien stod for 40 prosent av utslippene hver. Byggebransjens viktigste produkt var boligbygg, mens industriens var biler. Fordelingen er presentert i Figur 2.2 (IRP, 2020).

#### 2.1.2 Tiltak for bærekraftig utvikling

Begrepet bærekraftig utvikling ble først brukt i rapporten *Vår felles framtid*, utgitt av Verdenskommisjonen for miljø og utvikling i 1987, også kalt Brundtland-kommisjonen. Bærekraftig utvikling defineres som “utvikling som imøtekommer dagens behov uten å



Figur 2.1: Utslipp knyttet til materialproduksjon som en andel av globale utslipp i 1995 opp mot 2015 (IRP, 2020)



Figur 2.2: Fordeling av materialers klimagassutslipp i 2015. Fordelt på prosess til venstre, og på første bruksområde ved nedstrøms produksjonsprosess til høyre (IRP, 2020)

ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal få dekket sine behov” (Brundtland, 1987). Definisjonen legger særlig vekt på de fattiges behov for å få oppfylt sine grunnleggende rettigheter og skape muligheter for et bedre liv. Den innebærer også oppfatningen av at det finnes grenser for hva naturen kan levere i dag, uten at det går på bekostning av hva den kan levere i framtiden. Bærekraftig utvikling består av fokusområdene klima og miljø, sosiale forhold og økonomi. Disse avgjør om noe kan kalles bærekraftig utvikling.

I 1992, under miljø- og utviklingskonferansen i Rio de Janeiro, ble ytteligere tre konvensjoner vedtatt. Disse var klimakonvensjonen, konvensjonen om biologisk mangfold og FNs konvensjon mot ørkenspredning. Konvensjonene skal stimulere til videre arbeid med bærekraftig utnyttelse av verdens ressurser. Klimakonvensjonen har som mål å stabilisere konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren ved å begrense alle lands utslipp av klimagasser. Ingen grenser for utslipp ble satt, men konvensjonen åpner for videre forhandlinger om tilleggsprotokoller. Konvensjonen om biologisk mangfold pålegger alle medlemsland å jobbe for å sikre det biologiske mangfoldet på kloden. Tre hovedmål ble definert: å bevare

klodens biologiske mangfold, å fremme bærekraftig bruk av ressursene og å dele godene av genetiske ressurser rettferdig (FN-sambandet, 2019a). FNs ørkenkonvensjon søker mot å skape en felles innsats for å begrense ørkenspredning gjennom fokus på teknologi og økonomisk hjelp til de fattigste og mest utsatte landene (FN-sambandet, 2020c). I 2005 ble Kyotoprotokollen gyldig. Dette er en tilleggsprotokoll til Klimakonvensjonen. Protokollen setter konkrete krav og frister for kutt i klimagassutslipp for industriland. Avtalen har høstet mye kritikk for fordelingen av utslippskutt mellom land. Spesielt gjelder dette fordi land som Kina, India og Brasil ikke forpliktes til kutt fordi de ble regnet som utviklingsland. USA signerte aldri avtalen, mens Canada har valgt å trekke seg (FN-sambandet, 2019b).

Først i 2015 under Parisavtalen ble den første juridisk forpliktende klimaavtalen med nær global deltakelse undertegnet. Formålet var å styrke Klimakonvensjonens målsettinger. Dette gjøres gjennom blant annet et mål om å begrense den globale oppvarmingen til 2°C og gjøre de nødvendige tiltak for å forsøke å begrense oppvarmingen til 1,5°C, sammenlignet med førindustriell tid. Avtalen inkluderer ikke fastsatte krav til hvert enkelt land, men følger det såkalte *progresjonsprinsippet* som tilsier at innsatsen skal øke over tid. Utslippsmålene til det enkelte land skal fornyes hvert femte år (FN-sambandet, 2020b).

I tillegg til Parisavtalen ble også FNs bærekraftsmål vedtatt i 2015. Disse fungerer som en avløsning av FNs tusenårsmaal som gjaldt i perioden 2000-2015 og ansees for å være mer ambisiøse og omfattende. Målene skal fungere som en felles retning for land, næringsliv og sivilsamfunn i arbeidet for å bekjempe fattigdom og ulikhet, samt stoppe klimaendringene innen 2030. Målene omfatter 17 hovedmål, som vist i Figur 2.3, og 169 delmål (FN-sambandet, 2020a).



Figur 2.3: FNs bærekraftsmål (FN-sambandet, 2020a)

Byggebransjen er direkte eller indirekte knyttet til samtlige av bærekraftsmålene og har dermed et ansvar for å tilstrebe å oppfylle disse. Mange av målene kan fremmes ved arbeid av organisatorisk karakter. Mest relevant for denne oppgaven er målene som omhandler byggebransjens ressursbruk og klimapåvirkning. Følgende mål er dermed sentrale:

- 3 God helse og livskvalitet.
- 6 Rent vann og gode sanitærforhold.
- 9 Industri, innovasjon og infrastruktur.
- 11 Bærekraftige byer og lokalsamfunn.
- 12 Ansvarlig forbruk og produksjon.
- 13 Stoppe klimaendringene.
- 14 Livet i havet.
- 15 Livet på land.

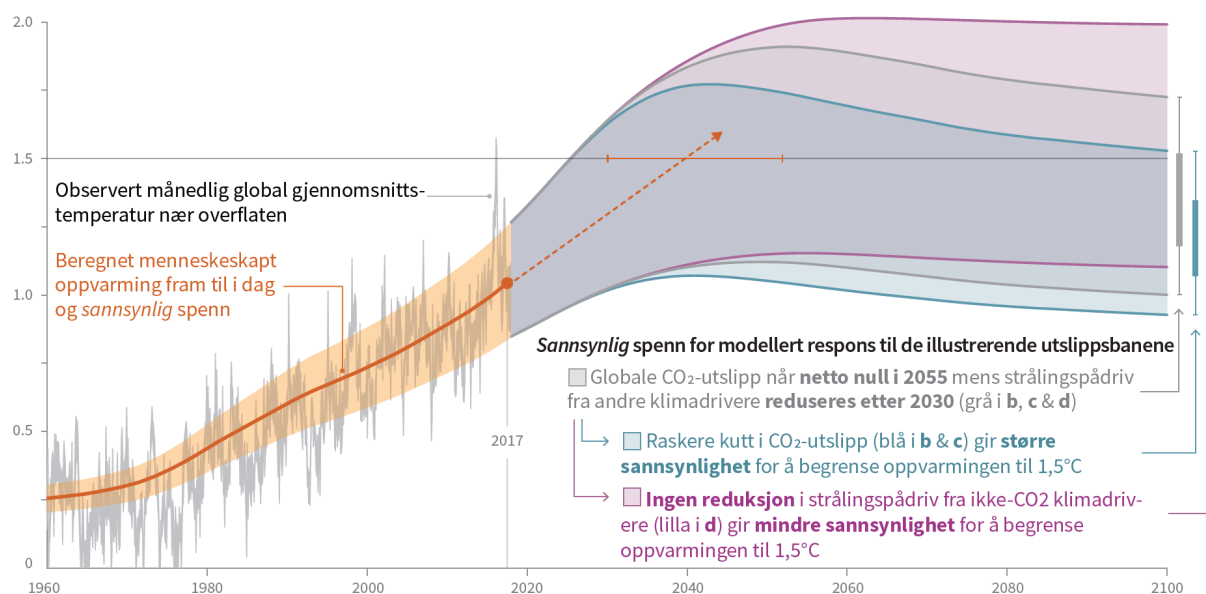
Målene vil eksempelvis fremmes ved bruk av produkter uten helse- og miljøskadelige stoffer og med miljøsertifisering av disse, redusert og bærekraftig uttak av ressurser, arealeffektivisering i det bygde miljø, korrekt avfallshåndtering og utvikling og formidling av bærekraftige løsninger.

Utgangspunktet for Norges klimapolitikk er forlik inngått på Stortinget i 2008 og 2012. Avtalen inneholder mål for utslippsreduksjoner i 2020 og langsiktig mål om omstilling til lavutslippssamfunn. Det såkalte klimaforliket setter som mål å overoppfylle Kyotoforpliktelsen med 10 prosentpoeng i første forpliktelsesperiode, redusere globale utslipp av klimagasser tilsvarende 30 prosent av Norges 1990-utslipp innen 2020 og at Norge skal være karbonnøytralt innen 2050. Norge skal ha et forpliktende mål om karbonnøytralitet senest i 2030. Det innebærer at Norge skal sørge for utslippsreduksjoner tilsvarende norske utslipp i 2030 (Regjeringen, 2020).

I 2018 inngikk Norge en klimaavtale med EU om felles oppfyllelse av utslippsmålene for 2030, som da var 40 prosent reduksjon innen 2030 sammenlignet med 1990. I februar 2020 meldte Norge om forsterket klimamål under Parisavtalen som en del de pålagte oppdaterte utslippsmålene. Norge har forpliktet seg til å redusere utslippene med minst 50 prosent og opp mot 55 prosent i 2030 i samarbeid med EU (Miljødirektoratet, 2020a).

På klimatoppmøtet i Paris i 2015 inviterte Konvensjonen FNs klimapanel til å utarbeide en spesialrapport om følgene ved 1,5°C som temperaturmål og hvordan det kan nås. 91 forfattere fra 40 land har utarbeidet rapporten som bygger på 6000 kilder. Rapporten ble publisert i oktober 2018. Denne fastslår at dersom dagens nasjonalt fastslåtte bidrag i Parisavtalen oppfylles, vil likevel jorden oppleve en økning på over 1,5°C. Dagens målsetting er anslått å gi en global oppvarming på 3°C i 2100 (IPCC, 2018).

For å holde temperaturstigningen under 1,5°C, må utslippene i 2030 være 40-50 prosent lavere sammenlignet med 2010 enn det dagens fastsatte bidrag vil føre til. Utslippene fra industrien må reduseres med 75-90 prosent i 2050 og fornybar energi må stå for 70-80 prosent av all elektrisitet i 2050. Bruk av kull må være tilnærmet utfaset innen 2050. Lavutslippsteknologi i transportsektoren må økes fra 5 prosent i 2020 til 35-65 prosent, og netto klimagassutslipp globalt må være lik null i 2050 (IPCC, 2018). Figur 2.4 viser den globale oppvarmingen sammenlignet med år 1850-1900 og viser hvordan utslippene må reduseres for å oppnå de forskjellige miljømålene.

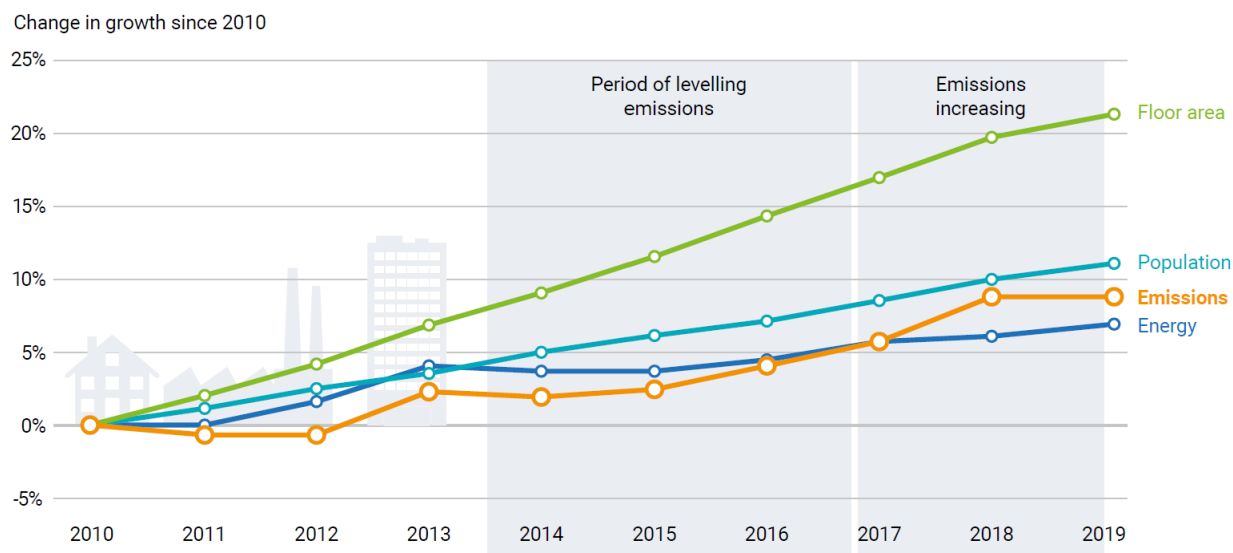


Figur 2.4: Observert global temperaturendring i °C og modellert respons til illustrerte framtidige menneskeskapt klimagassutslipp og strålingspådriv. Først publisert av IPCC (2018) og deretter oversatt av Miljødirektoratet (2018)

### 2.1.3 Byggebransjens miljøpåvirkning

Byggebransjen jobber mot å bli en bærekraftig industri, men globalt sett går ikke omstillingen raskt nok til å oppfylle togradersmålet. FNs miljøprogram (UNEP) og det internasjonale energibyrået (IEA) har siden 2016 årlig publisert en rapport om byggebransjens status i overgangen til en lavkarbonbransje. I rapporten *2020 Global Status Report for Buildings and Construction* kommer det fram at det aldri tidligere er målt høyere utslipp fra byggebransjen enn i 2019. Økningen i utslipp de siste årene som følge av økt energibruk i geografiske områder der kull, olje og naturgass dominerer som energikilde til oppvarming og matlaging. Bygningsbransjen står i dag for omtrent 35 prosent av globalt energibruk og 55 prosent av globalt elektrisitetsbruk. Dette understreker viktigheten av å redusere energibruk i bygninger, samtidig som energisektoren skifter til høyere grad av fornybar energi. For å oppnå en netto nullutslipps bygningssektor innen 2050, har UNEP estimert at direkte utslipp knyttet til energiforsyning må reduseres med 50 prosent og indirekte utslipp med 60 prosent innen 2030. Dette tilsvarer en nedgang på 6 prosent i året fra 2020 til 2030. Til sammenligning var de reduserte utslippene fra energisektoren 7 prosent under Covid-19-pandemien i 2020.

Samtidig som utslippene må ned kan vi forvente en dobling av gulvareal innen 2050. Spesielt stor vil veksten være i land med hurtigvoksende økonomi og befolkning. I land med høyere inntekt vil en kunne forvente at dagens bygningsmasse vil stå for største andelen i 2050. Dette betyr at dagens bygningsmasse vil trenge et løft for å møte krav om energieffektivitet i fremtiden. I Figur 2.5 vises sammenhengen mellom vekst i gulvareal, befolkning, energibehov og globale utslipp. De siste ti årene har vekst i CO<sub>2</sub>-utslipp og energibehov vært noe mindre enn befolkningsveksten og omtrent halve veksten av gulvareal (UNEP, 2020).



Figur 2.5: Endring i globale trender og drivere i byggebransjen (UNEP, 2020)

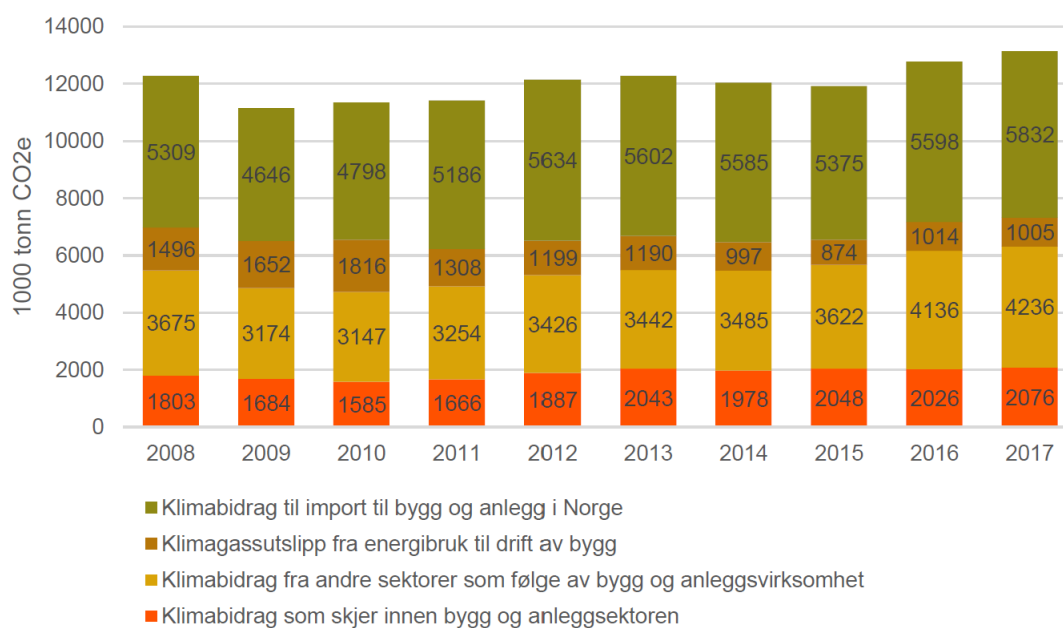
Den forventede veksten i gulvareal vil medføre et enormt ressursforbruk og dermed et økende press på jordens naturressurser. I dag står bygge- og anleggsbransjen for omtrent 50 prosent av verdens forbruk av jomfruelig materiale. Globalt materialforbruk er forventet å fordobles innen 2060, der byggebransjen er forventet å stå for en tredjedel av økningen. Betong er da alene forventet å stå for 12 prosent av verdens CO<sub>2</sub>-utslipp. I dag forbruker bransjen omtrent 43 Gt mineraler til bygge- og anleggsarbeider. Herunder mineraler til over 4 Gt sement i tillegg til tilslag som sand og grus, asfalt, murstein, gips, stein og glass. I følge UNEP (2020) produseres det i dag 30 milliarder tonn sand i året, noe som tilsvarer ca 4 tonn per person på kloden. Store deler av dette uthentes fra sensitive økosystemer som elveleier og kystregioner. Det utvinnes også mineraler til blant annet 0,6 Gt stål og andre mineraler som aluminium og kobber, hvorav alle er høyst forurensende under uthenting og prosessering. Også store mengder treverk hentes ut. Nærmere bestemt 0,9 milliarder m<sup>3</sup>, hvorav begrensede mengder kommer fra sertifisert skogsdrift (UNEP, 2020).

IRP (2020) slår fast at strategier innen materialeffektivisering og bruk av resirkulerte materialer kan redusere klimagassutslipp knyttet til materialbruk i boligbygg med 80-100 prosent i G7 land innen 2050. Herunder nevnes intensivering av bruken av eksisterende bygg, materialeffektivt design for nye bygg, bruk av bærekraftig tømmer og forbedret resirkulering. Per 2019 rapporterer UNEP om at omtrent 25-30 prosent av avfallsmengden i EU kommer fra konstruksjon og riving av bygningsmasse. Det kan tenkes at store deler av disse mengdene kunne vært gjenbrukt. Hvis en ser på hele livssyklusen til bygningsmassen kan korrekte strategier føre til 35-40 prosent reduserte utslipp fra produksjon, drift og riving i G7 land.

Norge er ett av få land i verden hvor elektrisitet er hovedkilden til oppvarming i bygg med 73 prosent (Larsen, 2019). Ettersom energimiksen stort sett er basert på fornybare energikilder, betyr dette at klimagassutslipp knyttet til energibruk i bygninger er små. I tillegg fases nå fyringsolje ut som energikilde, med totalt forbud fra 2020. I 2019 kom kun 1,9 prosent av de totale utslippene i Norge som følge av fossile oppvarmingskilder. Dette er en nedgang på 65 prosent fra 1990 (Miljødirektoratet, 2020b). Endringer i energipriser,

skjerpede energikrav til nye bygg og forbud mot bruk av mineralolje til oppvarming av bygninger nevnes som viktige drivere. Til tross for lave utslipp i drift er energibruk i norske bygg høy med omtrent 40 prosent av nasjonalt konsum. Gjennom klimaforliket besluttet Stortinget i 2012 å skjerpe kravene i TEK10 til passivhusnivå innen 2015 og nesten nullenerginivå i 2020 (Direktoratet for byggkvalitet, 2015). Tiltakene har hatt effekt, og NVE kan vise til en nedadgående trend i energikonsum i norske husholdninger fra 2010 til 2018 (NVE, 2019).

De totale utslippene til Norges byggebransje, inkludert import, er presentert i Figur 2.6. Figuren er hentet fra Larsens rapport *Bygg- og anleggssektorens klimagassutslipp* (Larsen, 2019). Fra diagrammet kan en se at energibruk i drift kun utgjør en liten del. Utslipp fra byggeplass, “Klimabidrag som skjer innen bygg og anleggsektoren”, bidrar med omtrent dobbelt så mye, rundt 2 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Disse utslippene er stort sett grunnet bruk av fossile energikilder under bygging. Omtrent halvparten av importutslippene og utslippene fra andre sektorer som følge av bygg- og anleggsvirksomhet er resultat av produksjon av byggevarer. Totalt utgjør dette litt over 5 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, eller 40 prosent av bransjens utslipp. Dette er uten å inkludere transporten av materialene.



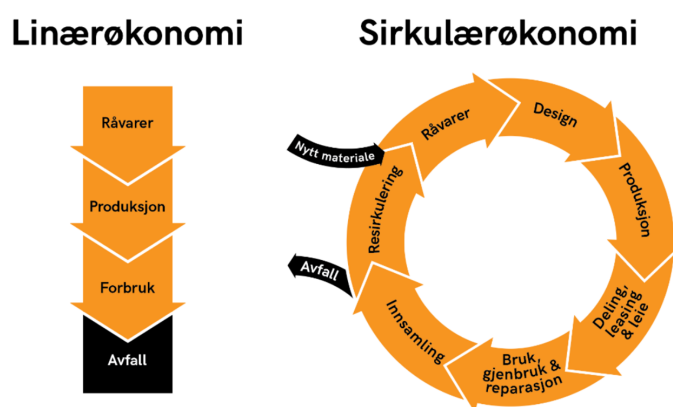
Figur 2.6: Klimagassutslipp fra norsk bygg- og anleggssektor inkludert import (Larsen, 2019)

## 2.2 Sirkulærøkonomi

I dagens miljødebatt diskuteres sirkulærøkonomi som et sentralt begrep for å nå togradersmålet satt av FN. Det finnes ingen entydig definisjon av begrepet, men Moum mfl. (2017) oppsummerer begrepet med følgende fellestrekk:

- Overgang fra en lineær verdikjede til lukkede sløyfer.
- Økt ressursutnyttelse.
- Grønn økonomisk vekst.
- Bryte linken mellom økonomisk vekst og forbruk av ressurser.

Dagens økonomi ansees å være en lineær modell. I en slik modell produseres produkter av jomfruelige råvarer som etter endt bruk kastes og dermed havner utenfor kretsløpet. Gitt at kloden har en begrenset mengde ressurser som fornyes svært sakte eller ikke fornyes i det hele tatt, vil dette medføre ressursmangel i framtiden. Knapphet på råvarer vil kunne påvirke pris- og produksjonsnivå og i verste fall føre til at råvarene i praksis blir totalt utilgjengelige. I et sirkulært tankesett vil avfall derimot være en ressurs og råvare for nye prosesser. Ideelt sett vil konseptet avfall fases ut, og et “vugge til vugge”-perspektiv vil prege samfunnet. Moum mfl. (2017) nevner økt ressursutnyttelse, ny verdiskapning og sikker tilgang på tilstrekkelig med råvarer som de viktigste driverne av overgangen til en sirkulær økonomi. Videre påpekes det at overgangen også vil bidra til lavere klimagassutslipp og mindre annen miljøpåvirkning. De forskjellige modellene er gjerne presentert som i Figur 2.7.



Figur 2.7: Prinsipiell illustrasjon av lineær- og sirkulærøkonomi (Boye, 2019)

### 2.2.1 Sirkulærøkonomi i byggebransjen

Byggebransjens rolle i omstillingen mot et sirkulært samfunn er betydelig. Deloitte (2020) identifiserte i sin andre utredning av *Kunnskapsgrunnlag for nasjonal strategi for sirkulær økonomi*, at bygg-, anlegg- og eiendomssektoren har særlig behov og potensiale for økt sirkularitet. Dette er begrunnet med et høyt materialforbruk som produserer store mengder avfall. I samme rapport ble et utvalg næringsmuligheter med særlig høyt potensiale for økt sirkularitet og økonomisk verdiskapning, identifisert og rangert. De høyest prioriterte var:

1. Bedre vedlikehold, reparasjon og rehabilitering av eksisterende anlegg og bygningsmasse.
2. Økt bruk av materialer som egner seg for reparasjon, demontering, ombruk og resirkulering.
3. Økt bruk av industrialisert produksjon og 3D-printing (forhåndskuttede, prefabrikerte materialer/moduler o.l.).
4. Økt arealutnyttelse gjennom flerbruks- og sambruksløsninger i eksisterende bygningsmasse og i nybygg.
5. Økt bruk av resirkulerte materialer i bygg- og anleggsprosjekter.
6. Økt ombruk av materialer i bygg- og anleggsprosjekter.



Oppsummert peker punktene mot forlenging av materialer og bygningers levetid, material- og arealeffektivisering, planlegging for, og økt grad av, ombruk.

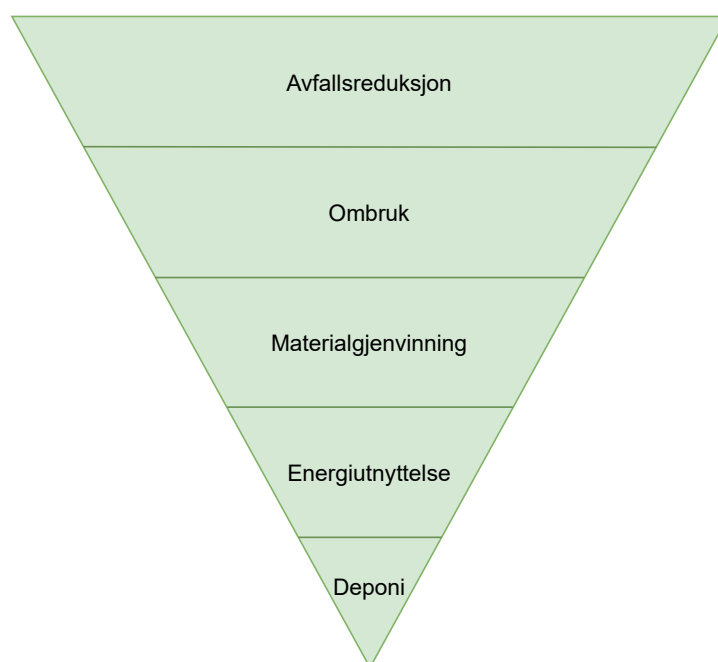
### 2.2.2 Status for byggeavfall i Norge

Potensialet for sirkularitet er sterkt knyttet til avfallsmengder generert og deres nåværende behandlingsmetode. De siste 20 årene har norsk rive- og gjenvinningsbransje gjennomgått store endringer. Gjennom økende krav til sortering på byggeplass, nasjonale målsettinger om høyere resirkuleringsgrad og forbud mot deponering av organisk avfall, har gjenvinningsgraden økt betydelig. Til tross for dette står byggebransjen for en stor andel av Norges årlige genererte avfallsmengde. Nærmere bestemt 24 prosent og 2,8 millioner tonn, skal vi tro *Avfallsregnskapet* (Statistisk sentralbyrå, 2020b). Mengdene er konjunkturavhengig og statistikken beheftet med usikkerhet. En kartlegging utført av NOMIKO viser at betydelige mengder havner utenom statistikken (Valde mfl., 2018). Selv opererer bransjen med at omtrent 40 prosent av alt globalt avfall kommer fra bygg- og anleggsbransjen (Kilvær mfl., 2019).

Avfall fra nybygg, rehabilitering og riving utgjør omtrent en tredjedel av avfallet hver. I 2018 ble omtrent 43 prosent sendt til materialgjenvinning, 28 prosent til energiutnyttelse og 28 prosent til deponi. Kravet i EUs rammedirektiv for avfall er at 70 vektprosent av ikke-farlig bygg- og anleggsavfall skal gå til ombruk og materialgjenvinning i 2020 (Regjeringen, 2006). TEK17 krever imidlertid kun 60 prosent sortering av avfall som oppstår (Direktoratet for byggkvalitet, 2017).

### 2.2.3 Avfallshierarkiet

Hvis en rangerer behandlingsmetoder for bygningsmaterialer fra mest til minst ønskelig, har vi: *avfallsforebygging* og *avfallsreduksjon*, *ombruk*, *materialgjenvinning*, *energiutnyttelse* og til slutt *deponi* (Sørnes mfl., 2014). Rangeringen fremstilles gjerne som i Figur 2.8.



Figur 2.8: Avfallspyramiden

Å hindre at avfall oppstår, har høyest prioritet. Avfallsforebygging og avfallsreduksjon kan oppnås ved å benytte materialer av god kvalitet, redusere emballasje og avkapp, forlenge levetiden til bygningsdelene og unngå riving. Ombruk er ny utnyttelse av et produkt i dets opprinnelige form (Statsbygg, 2002b) og er den mest høyverdige behandlingsformen for avfall. Det skilles mellom *lokalt ombruk* og *ombruk annensteds*. Lokalt ombruk er ombruk av bygningselementer oppstått ved oppgradering av samme bygning som elementene er hentet fra. Mest vanlig er ikke-bærende konstruksjoner, inventar og tekniske systemer. Ombruk annensteds er ombruk av bygningskomponenter (for eksempel vinduer, dører og bærende konstruksjoner) som kommer fra andre bygninger (Sørnes mfl., 2014).

Dersom produktet i utgangspunktet ikke passer sitt nye bruk, eller er for skjørt for selektiv demontering, kan det *materialgjenvinnes direkte* som råstoff i produksjon av tilsvarende produkt. *Indirekte materialgjenvinning* er omdanning av avfallet til andre typer produkter. For at byggevarer skal materialgjenvinnes, må det finnes etablerte industrielle prosesser for å bruke gjenvunnet materiale i produksjon av nye materialer. Hvis byggevarer består av flere materialer, for eksempel kompositter eller rullprodukter limt til en overflate, må materialene enkelt kunne skilles fra hverandre eller kunne inngå i produksjon av samme produkt for å materialgjenvinnes. Avfallstyper som typisk materialgjenvinnes er asfalt, metaller, papir og papp, glass og gips (Statistisk sentralbyrå, 2020a).

Energiutnyttelse er gunstig for organiske materialer som vanskelig lar seg ombruke. Brorparten av avhendet treverk sendes i dag til energiutnyttelse sammen med blandet restavfall. Deponi er siste utvei for byggevarer som ikke møter overnevnte kriterier eller som inneholder helse- og miljøgifter over visse grenseverdier. Betong, tegl, farlig avfall og gips ender ofte opp i denne kategorien (Statistisk sentralbyrå, 2020a).

## 2.3 Ombruk i byggebransjen

### 2.3.1 Hvorfor ombruk?

Miljødirektoratet (2020c) beskriver sirkulærøkonomi som et system der naturressurser og produkter utnyttes effektivt og så lenge som mulig, i et kretsløp der minst mulig ressurser går tapt. Med et slikt system som mål for bransjen, vil gjenbruk være et uunngåelig virkemiddel. Gjenbruk er en samlebetegnelse for ombruk og materialgjenvinning, der ombruk er den mest høyverdige behandlingsmetoden, og dermed mest ønskelig sett i et miljøperspektiv. I hvilken grad ombruk i stor skala er gjennomførbart, er derimot svært omdiskutert. Tradisjonelt sett krever ombruk høy grad av manuelt arbeid for demontering, istandgjøring og remontering. Dette passer ikke inn i bransjens lineære tankesett som er sterkt preget av industrialiserte prosesser. Ombruk er til tross for dette vurdert som et viktig satsingsfelt for å redusere bransjens ressursforbruk og klimagassutslipp. I dag finnes gode resirkuleringsordninger for materialtyper som blant annet metall, glass og enkelte typer plast. Materialgjenvinning reduserer klimagassutslipp og råvareuttak, men sammenlignet med ombruk er reduksjonene små.

Klimagassreduksjoner ved ombruk i det enkelte prosjekt har i følge Nordby (2018) et reduksjonspotensiale på 94 prosent per tonn ombrukt materiale fra en bottom-up analyse. Slike reduksjoner vil kunne gi store kutt i klimagassregnskapet på prosjektnivå. På nasjonal basis står rivingsaktivitet for omtrent 40 prosent av bygg- og anleggssektorens årlige avfallsmengder (Statistisk sentralbyrå, 2020a). (Nordby, 2018) antar at 10 prosent

av de totale avfallsmengdene vil kunne ombrukes i nybygg eller rehabiliteringsprosjekter. En slik ombruksandel vil på nasjonal basis kun føre til 2 prosent reduksjon av utslipp knyttet til produksjon, transport og avfallsbehandling av nye materialer. Årsaken til at reduksjonen er marginal, er at rive-/avfallsvolumene er små sammenlignet med materialstrømmene til nye bygg. Misforholdet mellom tilført materiale og avhendet materiale er dermed det som begrenser klimaeffekten. Bidraget fra ombruk er dermed begrenset som følge av liten råstofftilgang, men bør ikke av den grunn nedprioriteres som klimatililtak. I Tabell 2.1 kommer det tydelig fram hvor store forskjeller det er mellom faktisk avfallsmengde og estimert mengde materialer fra import og produksjon i Norge hvert år.

Tabell 2.1: Sammenstilling av avfallsmengder i 2016 og estimert mengde materialer produsert og importert til Norge hvert år (Nordby, 2018)

	<b>Genererte mengder avfall [tonn]</b>	<b>Produksjon og import [tonn]</b>
Betong og tegl	666 420	10 500 000
Trevirke	259 613	2 366 000
Stål	80 031	240 000
Glass	9 507	76 000

De første tiårene etter 2. verdenskrig ble det bygget mange bygg som står den dag i dag, men som nærmer seg sin funksjonelle levealder. Ut i fra dette er det estimert at riveaktiviteten vil mangedobles i årene som kommer. I tillegg peker mye på at byggeaktiviteten vil fortsette å øke. Denne økningen av bygge- og riveaktivitet vil medføre større mengde generert avfall. Samtidig vil markedet oppleve høyere etterspørsel etter materialer. Nordby (2018) påpeker at planlegging og tilrettelegging for systemer for ombruk kan bidra til å møte denne etterspørselen og redusere avfallsmengder, i tillegg til å redusere klimagassutslippet til bransjen i fremtiden.

### 2.3.2 Ombruk i Norge

Ombrukstradisjonene i Norge henger tydelig sammen med materialutviklingen og tilgjengeligheten av disse. Trehus har alltid vært godt representert i Norge på grunn av rikelig tilgang på tømmer. Teknikken med på bygge i tre ble utviklet i laftekunsten, og gikk gjerne i arv fra far til sønn. Etter at teglstein kom på markedet, og de større byene vokste fram, ble murhus mer utbredt. Særlig ble utviklingen framskyndet av en rekke store bybranner, og på midten av 1800-tallet ble det innført murtvang i de største byene. På materialfronten var det ikke før midten av 1800-tallet at stålkonstruksjoner og armert betong ble innført, og selv etter innføringen av disse fantes det bare omkring 50 materialer tidlig på 1900-tallet (Thue, 2016; Leland, 2008). Utviklingen skjøt imidlertid fart på 60- og 70-tallet, og det finnes i dag flere hundre tusen tilgjengelige materialer (Thue, 2016; Nordby, 2009).

Materialutviklingen markerer samtidig et skille for når gjenbruk sluttet å være en del av byggeskikken. Gjenbruk har vært godt utbredt i Norge i helt fram til 1960-tallet. Til da var det sterke tradisjoner for å sortere og gjenbruke de tradisjonelle byggematerialene som laftet tømmer, takstein, murstein, bjelkelag, takkonstruksjoner vinduer og dører. Slikt gjenbruk kunne gi store økonomiske besparelser da materialene var kostbare. Det store skiftet for industrialiseringen av materialproduksjon kom da man gikk fra kalk til

sementmørtel i 1950-årene. Effektive byggemetoder, lavere krav til byggets levetid og lavere materialkostnader gjorde at gjenbruk gradvis ble faset ut (Grønn Byggallianse, 2019).

Tradisjonell norsk byggeskikk er preget av tilrettelegging for endringsdyktighet. Det vil si at byggene kan tilpasses et annet bruk enn det de var tiltenkt da de ble oppført (Leland, 2008). Et godt eksempel er laftede bygg som er forberedt for enkeltvis utskifting av elementer, ombygging og flytting av hele hus. Også tradisjonelle murhus i teglstein kan demonteres stein for stein, takket være svak kalkmørtel. Desverre har ikke moderne byggeskikk adoptert denne tankemåten. I dag spleises gjerne flere materialer av ulik kvalitet permanent med innebygde tekniske systemer. Å separere og sortere slike kompositter krever en hel del arbeid, og er sjelden lønnsomt. Selv murhus i tegl blir i dag gjerne murt med portlandsement. Dette gjør murstenene umulige å separere skånsomt (Nordby, 2009).

### 2.3.3 Barrierer for ombruk

Det er gjort mange studier for å avdekke hvilke barrierer som hindrer byggenæringen å adaptere ombruk i større grad. I Nordby (2018) er disse grundig gjennomgått. Rapporten nevner et stort antall barrierer knyttet til markedsmessige, organisatoriske og tekniske aspekter. I tillegg kommer barrierer knyttet til juridiske føringer som lovverk, forskrifter og direktiver. Av sistnevnte vurderes Byggteknisk forskrift (TEK17) og Forskrift om dokumentasjon av byggevarer (Byggeforskriften, DOK) som mest relevant, og vil gjennomgåes i Avsnitt 2.3.4.

En tydelig barriere for ombruk er at etterspørselen etter brukte byggematerialer i den profesjonelle delen av byggenæringen er tilnærmet lik null. Det finnes unntak der brukte byggevarer benyttes for å bane vei for ombruk eller for å nå høye miljøambisjoner, men disse har ofte problemer med å skaffe informasjon om tilgjengelige brukte byggevarer. På samme måte har rivingsprosjekter som tilbyr brukte byggevarer vanskeligheter med å nå ut til aktuelle kunder da det ikke finnes en standard plattform for dette. Eneste anerkjente profesjonelle ombruksaktøren i Norge er for øyeblikket *Resirquel*, som tilbyr ombruksrådgivning og uthenting, lagring og salg av ombruksmaterialer i Osloregionen. I det private markedet fungerer *finn.no* som markedsplattform for salg og kjøp av brukte byggevarer. Plattformen har vært forsøkt benyttet for å gi privatpersoner tilgang til rivingsmaterialer fra proffmarkedet, men uten særlig hell. Ved riving av Ruseløkka skole ble bygningsdeler lagt ut på *finn.no*, men med krav om at interessenter måtte ha ansvar rett for å kunne utføre demontasje i bygget grunnet HMS-regler (Nordby, 2018). Slikt reglement gjør det stadig vanskeligere for eksterne aktører å få tilgang til byggeplass for blant annet uthenting av verdifulle bygningsdeler.

Det finnes en rekke grunner for hvorfor markedet for gjenbruk er underutviklet. I Nordby (2018) pekes det først og fremst mot mangel på økonomiske insentiver. Ombruk kompliserer byggeprosjekter, blant annet fordi man ikke kan styre leveranser av og tilgang på materialer slik som i ordinære byggeprosjekter. Prosjekterende må designe ut ifra det som er tilgjengelig for øyeblikket, noe som fører til store usikkerheter. Dersom riving og bygging foregår til ulik tid, må materialer lagres i mellomtiden. Materialene bør lagres tørt, og i noen tilfeller også varmt. Dette krever store lagerlokaler og transport til og fra disse. Dette medfører ekstra kostnader og kan føre til redusert kvalitet. Selektiv riving for

ombruk av rivingsmaterialer fører ofte til økte håndteringskostnader. Disse kostnadene ønsker ingen å ta på seg med mindre det er en tilstrekkelig betalingsvilje for ombruksmaterialene. Maskinell riving og fjerning i containere går raskere og er en innarbeidet rutine i bransjen med forutsigbar kostnad.

Det enorme utvalget av byggematerialer i den eksisterende bygningsmassen gjør det utfordrende å skape nok kvanta av samme materialer for leveranser til nybygg (Nordby, 2018). Utvalget fører også til at sertifisering og produktgarantier må gis på et stort utvalg materialer, noe som gjør det vanskelig å industrialisere prosessen. Det samme gjelder å kontrollere materialer for helse- og miljøskadelige stoffer. Usikkerheter rundt hvilke stoffer som rent juridisk sett er tillatt for omsetning for ombruk er også et problem. PCB-holdige vinduer er for eksempel forbudt å gjenbruke, mens vinduer med klorparafiner er lovlig (Nordby, 2018).

En byggevare ment for ombruk må kunne dokumentere tilfredsstillende egenskaper for lovlig å kunne integreres i et nytt bygg. Ofte er det problematisk å framskaffe slik dokumentasjon for å kunne omsette produktet i markedet. Selv ved lovlig, tilfredsstillende dokumentasjon kan man ende opp med et produkt som ikke kan tas i bruk i nybygg på grunn av dårlige tekniske egenskaper (Kilvær mfl., 2019). “Ved ombruk må byggene oppfylle de samme kvalitetskravene som nybygg bygget med nye materialer” (Direktoratet for byggkvalitet, 2018).

### 2.3.4 Regelverk

Dagens regelverk er ikke tilpasset ombruk. Fokus på nettopp dette har økt de siste årene, både nasjonalt og i EU, og en kan se en økt vilje for å tilrettelegge for ombruk. Enn så lenge må ombruksprosjekter forholde seg til samme reglement som ved ordinære nybyggingsprosjekter. For å benytte seg av brukte byggevarer må det dokumenteres at de oppfyller krav i Byggteknisk forskrift (TEK17) og Forskrift om dokumentasjon av byggevarer (Byggeforskriften, DOK). Byggevareforordningen er en del av sistnevnte.

#### Byggevareforordningen

Byggevareforordningen inneholder regler for dokumentasjon og omsetning av produkter til byggverk, det vil si byggevarer. Forskriften inneholder krav og regler for CE-merking av byggevarer. CE-merking gjelder for de byggevarer der det finnes en harmonisert standard eller der produsenten har valgt å få utført en europeisk teknisk bedømmelse av produktet, en ETA (European Technical Assessment) (Direktoratet for byggkvalitet, 2017). I Norge er SINTEF Byggforsk utnevnt som teknisk bedømmelsesorgan og kan utarbeide ETA for byggevarer. Forskriften krever dokumentasjon av diverse produkttegenskaper, avhengig av produkttypen, før varen lovlig kan omsettes i markedet. Produkttegenskaper kan eksempelvis være brannpåvirkning og brannmotstand, mekanisk styrke, termisk motstandsevne, lydisoleringsevne, lufttetthet, regntetthet, damp tetthet, utlekking av metaller til drikkevann, emisjon av forurensende stoffer og innhold av farlige stoffer (Sørnes mfl., 2014). Byggevareforordningen trådte i kraft 1. januar 2014.

For byggevarer som ikke er omfattet av harmonisert standard, eller hvor det er utarbeidet en (ETA), må reglene i DOK kapittel 3 følges. Kapitlet gjelder for varer som ikke er CE-merket. DOK krever i §11 at den som omsetter en byggevare skal “sørge for at vesentlige egenskaper til byggevarer er dokumentert og at tilfredsstillende produkt dokumentasjon er

tilgjengelig før byggevaren omsettes, markedsføres, distribueres eller brukes i et byggverk” (Direktoratet for byggkvalitet, udatert). Krav til byggevarer uten CE-merking er noe mildere, da en kun trenger å dokumentere de egenskaper som er strengt nødvendige for vurdering av byggevarens egnethet til bruk i byggverk. Det skal benyttes relevante beregnings-, prøvings-, eller klassifiseringsstandarder for å bestemme og dokumentere minst én egenskap. Videre følger det av forskriften at byggevaren, når forsvarlig benyttet, medvirker til at byggverk tilfredsstillende grunnleggende krav til:

- a) Mekanisk motstandsevne og stabilitet.
- b) Brannsikkerhet.
- c) Hygiene, helse og miljø.
- d) Sikkerhet og tilgjengelighet ved bruk.
- e) Vern mot støy.
- f) Energiøkonomisering og varmeisolering.
- g) Bærekraftig bruk av naturressurser.

Unntak fra krav om ytelseserklæring og CE-merking gjelder for byggevarer som inngår i restaurering av offentlige, vernede byggverk, spesifikt produserte varer eller hvis byggevaren er produsert på byggeplass. I disse tilfellene trenger ikke produktet å vurderes av et tredjeparts teknisk kontrollorgan.

### **Ombruk av byggevarer og krav til dokumentasjon**

“Byggevareforordningen fastsetter regler for omsetning og tilsyn av CE-merkede byggevarer” (Direktoratet for byggkvalitet, udatert). Forordningen skiller mellom ulike roller i omsetningskjeden for byggevarer. Disse er produsent, importør og distributør. Produsent er den som fremstiller byggevaren og som primært står ansvarlig for utarbeidelse av dokumentasjon for byggevaren. I Resirquels rapport *Forsvarlig ombruk av byggevarer* uttrykkes det bekymring for at den som selger brukte byggevarer vil kunne bli oppfattet som produsent av regelverket (Kilvær mfl., 2019). Det er usikkert hvorvidt dette kan imøtekommes, da det for produsenter legges til grunn serieproduksjon med standarder, kvalitets-, test- og kontrollsystemer utarbeidet for produksjonsfasen.

Diskusjonen om hvorvidt brukte byggevarer omfattes av CE-ordningen, har pågått en stund, både nasjonalt og i EU. Etter gjennomgang av regelverk, med fokus på økt ombruk og gjenbruk, publiserte Kommunal- og moderniseringsdepartementet en pressemelding i januar 2021 med hovedbudskap om at byggevarer fra før 2013 ikke trenger å CE-merkes (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2021). I sammenheng med gjennomgangen er det også planlagt at Direktoratet for byggkvalitet skal utarbeide en veileder for ombruk av byggevarer. Direktoratet skal også utrede og foreslå endringer i dagens reglement for å åpne for ombruk av byggematerialer.

De fleste byggevarer aktuelle for ombruk i dag er produsert og omsatt før 2013. For å omsette/ombruke disse byggevarene, må dokumentasjon frembringes hvis det var dokumentasjonskrav for produktet i det gjeldende regelverket da det ble produsert. Det å skaffe slik informasjon har vist seg å være utfordrende. I tillegg kan produktet ha endret egenskaper i sitt livsløp slik at det ikke oppfyller den opprinnelige dokumentasjonen, eller at det kan være et ønske om å endre på produktet. Den originale dokumentasjonen vil i disse tilfelle ikke lenger være gjeldende. Kilvær mfl. (2019) påpeker at en byggevare fra

før 2013 dermed kan omsettes hvis:

1. Egenskapene til byggevaren er uendret.
2. Byggevaren skal selges under opprinnelig produktnavn.
3. Byggevaren skal selges med opprinnelig dokumentasjon.

I de tilfeller minst ett av kravene ikke kan oppfylles, vil selger måtte ta på seg rollen som produsent og det ansvar dette medfører i henhold til Byggevareforordningen.

Ved lokalt ombruk i rehabiliteringsprosjekter vil brukte byggevarer ikke være omfattet av Byggevareforordningen og krav til CE-merking, da produktene aldri når markedet, men brukes direkte inn i et nytt prosjekt av samme ansvarshavende. Det kan likevel være nødvendig med en form for ytelseserklæring, slik at ansvarlig utførende kan dokumentere at produktet har tilfredsstillende egenskaper og bidrar til oppfyllelse av TEK17.

### **Byggteknisk forskrift (TEK17)**

Selv om en brukt byggevare kan omsettes lovlig ved å oppfylle DOK, betyr ikke dette nødvendigvis at den kan benyttes i et bygg. TEK17 regulerer bruk av byggevarer og bestemmer minstekrav til bygg for lovlig oppføring i Norge. Forskriften skal sikre at tiltak planlegges, prosjekteres og utføres ut fra hensyn til god visuell kvalitet, universell utforming og slik at tiltaket oppfyller tekniske krav til sikkerhet, miljø, helse og energieffektivitet (Direktoratet for byggkvalitet, 2017).

Forskriften krever dokumentasjon for oppfyllelse av krav i TEK17 for det ferdige byggverket. Oppfyllelse av krav og preaksepterte ytelser kan dokumenteres ved bruk av Norsk Standard eller lignende. Dersom det ikke benyttes preaksepterte ytelser, skal oppfyllelse av funksjonskravene dokumenteres ved egnet analyse. Slike analyser er krevende og ofte lite aktuelt (Kilvær mfl., 2019). Det må dokumenteres at produkter til byggverk har nødvendige egenskaper slik at ferdig bygg tilfredsstiller kravene i forskriften. For brukte byggematerialer vil det være aktuelt å kontakte Norsk Gjenvinning Entreprenør AS, Norsk Treteknisk Institutt eller SINTEF Byggforsk for å gjennomføre tester for å dokumentere slike egenskaper. Dette er særlig aktuelt dersom prosjektet har mange identiske komponenter. Eksempler kan være stål- eller trebjelker som kan testes for trykk-, strekk-, skjær- og bøyefasthet. For stålbjelker kan informasjon også hentes fra tekniske ytelsestabeller for nye bjelker, såfremt de brukte bjelkene ikke er skadet eller overbelastet (Kilvær mfl., 2019).

I §9-5. Byggavfall kreves det at det skal velges produkter som er egnet for ombruk og materialgjenvinning for nybygg. Resirquel peker på at dette kravet ikke blir håndhevet i dag, og at det her er mulighet til å kreve mer ombrukbarhet i fremtiden (Kilvær mfl., 2019).

#### **2.3.5 Tiltak for økt ombruk i dag**

Enkelte aktører har jobbet mot økt ombruk i bransjen i mange tiår, men liten utvikling er målt. Som nevnt i Avsnitt 2.3.3 finnes det markedsmessige, organisatoriske og tekniske barrierer i tillegg til juridiske. Dette delkapittelet vil ta for seg litteraturens synspunkter og ideer for å bryte disse barrierene.

Det finnes et stort antall spesifikke forslag til endringer i lovverk og forskrifter som ikke er interessant å gå i dybden på i denne oppgaven. Overordnet sett er det behov for endringer i TEK og Byggevareforordningen. I TEK finnes allerede krav, men problemet ligger i at disse er løst formulert og ikke blir overholdt. Ansvarsbelegging av kravene i tillegg til insentiver ville kunne gi mer ombruk. Byggevareforordningen gjelder for hele EØS og Norge er forpliktet til å følge denne, uten muligheter til endringer. Det vil si at Norge bør bidra aktivt i prosessen med revisjon av ordningen slik at denne skal åpne for ombruk. Denne prosessen er allerede i gang. I desember sendte Byggevareindustriens forening, Statsbygg, Grønn Byggallianse og Sintef innspill til EUs planlagte revisjon av Byggevareforordningen.

Økonomiske insentiver fra staten er nevnt i litteraturen som et av de viktigste virkemidlene for å endre bedrifters lineære tankesett. Nye skattestrukturer, reduserte avgifter og økonomisk støtte gjennom innovasjons- og demonstrasjonsprogrammer samt momsfratak på reparasjoner og salg av brukte varer (Nordby, 2018). Slike insentiver vil øke lønnsomhet og redusere risiko i ombruksprosjekter. Høibye og Sand (2018) ser for seg at lavere avgift på resirkulerte og gjenbrukte byggematerialer vil ha god effekt, men at dette på sikt kan føre til reduserte skatteinntekter som øker i takt med etterspørselen. Avgiftsfordelen bør derfor fases ut med tiden ettersom brukte byggevarer blir konkurransedyktige.

Økonomisk lønnsomhet vil gradvis føre til en økt etterspørsel av ombruksmaterialer og kunnskap innenfor fagområdet, noe som igjen vil være en driver for etablering av en markeds plass. En slik markeds plass vil være kritisk for økt forutsigbarhet i ombruksprosjekter. I en digital markeds plass kan det publiseres informasjon om byggematerialer som er, eller vil bli, tilgjengelige. Slik informasjon er gjerne kjent allerede måneder eller år i forveien av rehabilitering eller riving. Denne tiden kunne med fordel vært utnyttet av både selgere og kjøpere til å formidle sine behov. Et eksempel på en slik markeds plass er *Loopfront* som hevder å være Norges største sirkulære plattform for byggematerialer og inventar. Plattformen er per i dag ikke benyttet i stor grad i bransjen. I følge Nordby (2018) må følgende informasjon inkluderes i slike markeds plasser:

- Antall, volum.
- Hvor det befinner seg.
- Kvalitet, tilstand.
- Pris og leveringsbetingelser.
- Mellomlagringsbehov og muligheter.

Hvis bedrifter ser økonomisk lønnsomhet i ombruk, er det sannsynlig at det vokser fram flere aktører som Resirquel, med tjenester innenfor demontering, lagring, redokumentasjon, rådgivning og salg. Slike spesialiserte bedrifter vil kunne bedre effektiviteten i ombruksprosjekter og bidra til kompetanseheving og informasjonsspredning i bransjen. Andre viktige initiativ for kompetanseheving nå i startfasen er gjennomføring av forbildep rosjekter. Her må byggherrer, særlig offentlige, stille krav til en viss ombruksandel ved nybygg og undersøke muligheter for ombruk av bygningskomponenter ved riving (Nordby, 2018).



### 2.3.6 Tiltak for økt ombruk i fremtiden

Tiltakene nevnt under Avsnitt 2.3.5 er myntet på å lette ombruk i dag. For å legge til rette for økt ombruk i fremtiden, trengs tekniske løsninger implementert i dagens bygg. Blant de mest anerkjente ideene er design for demontering, materialpass og materialbibliotek. Disse er gjensidig avhenging av hverandre for ønsket effekt og vil sammen kunne lette ombruksprosessen. I Merrild mfl. (2018) siteres arkitekt K.G. Jensen med følgende: “Today buildings are statically welded, glued and cast together. By designing for disassembly future buildings will be flexible and function as material banks”. Denne strategien er en av hjørnesteinene i det sirkulærøkonomiske tankesettet.

#### Design for demontering

I bygninger har ulike komponenter ulik levetid avhengig av kvalitet og eksponering. Design for demontering i byggebransjen handler om å sammenføre komponenter slik at de enkelt kan demonteres og erstattes ved behov. Strategien skal også sørge for skånsom demontering ved riving, noe som tillater komponenter med tilfredsstillende restlevetid og kvalitet å bli ombrukt. Ideen er at en bygning ikke er en permanent konstruksjon, men heller en midlertidig sammenstilling av materialer (Merrild mfl., 2018). Følgende prinsipper ligger til grunn for design for demontering (Merrild mfl., 2018; Leland, 2008):

- **Materialer**

- Bruk materialer med høy kvalitet og lang levetid som tåler gjentatt montering og demontering.
- Unngå helse- og miljøskadelige stoffer.
- Bruk komponenter med få bestanddeler.
- Benytt komponenter av moderat størrelse og lav vekt.
- Unngå overflatebehandlinger som vanskeliggjør ombruk.

- **Driftsfase**

- Benytt en oppbygging som tillater utskifting av komponenter med lavere levetid.
- Lag fleksible bygninger som tillater bruksendring.
- Tenk på bygninger som en midlertidig sammenstilling av materialer, bevar og vedlikehold materialene med tanke på fremtidig ombruk.

- **Standardisering**

- Benytt komponenter med standard dimensjoner.
- Bruk modulære systemer hvor elementer lett kan byttes ut.
- Bruk prefabrikkerte elementer for effektiv sammenstilling og demontering.

- **Sammenføyninger**

- Velg reversible sammenføyninger som tåler gjentatt montering og demontering.
- Gjør sammenføyningene lett tilgjengelige for å minimere tidsbruk ved monte-

ring og demontering.

- Benytt mekaniske sammenføyninger og unngå bindere som lim.

### • Demontering

- Legg en plan for rask og enkel demonteringsprosess allerede ved oppføring av bygget.
- Sørg for at sikkerhet og konstruksjonssikkerhet opprettholdes under demontering.

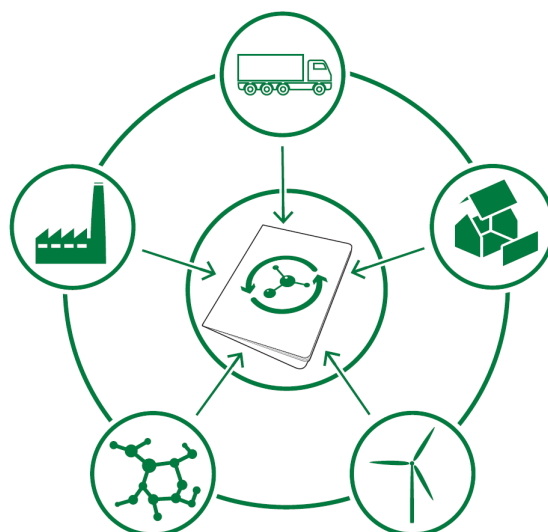
## Bygg som materialbank og materialpass

Når bygninger planlagt for demontering en gang skal avhendes, vil bygningskomponenter skånsomt kunne demonteres og brukes annensteds. Hvis demontering kan foregå uten å skade materialene, årevis etter oppføring, kan en begynne å se på bygninger som materialbanker. En samling av materialer med økonomisk, kulturell og miljømessig verdi.

For å gjøre materialbanker til en effektiv løsning, må det finnes en oppdatert oversikt over hva som finnes i bygget til enhver tid. I tillegg er det ønskelig med spesifikk informasjon om alle byggets materialer som er egnet for ombruk. For å imøtekomme disse behovene, er det foreslått å utvikle materialpass som skal følge byggevarene gjennom hele livsløpet. Et materialpass inneholder relevant informasjon om komponenten, da særlig kjemisk sammensetning, tekniske spesifikasjoner, miljøpåvirkning gjennom livsløpet, relevant informasjon om montering, vedlikehold og demontering og en unik kode som viser til eksakt plassering i bygget. I tillegg bør materialpasset regelmessig oppdateres med komponentens nåværende tilstand og relevant historikk, som hvor den har vært brukt tidligere og antatt eksponering. Slik vil alltid den faktiske tekniske tilstanden på bygningskomponentene være tilgjengelig (Merrild mfl., 2018). Informasjonen må være tilgjengelig i en database, og kan med fordel legges inn i en BIM-modell. Som et resultat av EUs forskings- og utviklingsprosjekt BAMB (Building As Material Banks) finnes det i dag flere selskap i Europa som utvikler materialpass. Et av de mest aktuelle er Madaster, som tilbyr digitale tjenester for formålet (Madaster, 2021).

## 2.4 Bygninger egnet for bevaring, ombygging og ombruk

Dagens bygninger kan ha en levetid mellom noen få år og flere hundre. Leland (2004) rapporterer om tendens til synkende gjennomsnittlig levetid på bygninger. Bohne og Wærner (2014) hevder den største driveren for riving av bygg i tett befolkede områder er byutvikling, gjerne som del av større prosjekter. En annen driver er at bygninger er planlagt å romme en definert aktivitet, uten tanke på at aktiviteten kan endre seg eller opphøre helt (Leland, 2004). Tilpasning er da ikke alltid lett hverken arkitektonisk, funksjonelt eller teknisk. Resultatet kan bli riving selv om bygget teknisk sett kunne stått en god stund til. I påfølgende delkapittel presenteres konsepter som påvirker en bygnings tekniske levetid. Siden vil konseptet “sirkulære bygninger” presenteres nærmere før rapporten søker mot å identifisere hvilke bygg som har potensiale for bevaring, ombygging og ombruk.



Figur 2.9: Illustrasjon av de viktigste komponentene i et materialpass (Merrild mfl., 2018)

#### 2.4.1 Levetidsbetraktninger

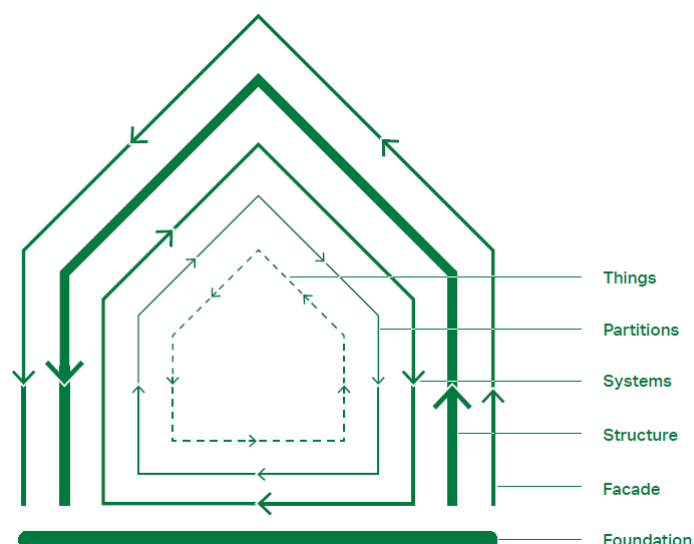
Levetiden til et bygg eller en bygningsdel er definert som “tiden som bygget eller dets deler oppfyller krav til (ønsket) funksjon” (SINTEF Byggforsk, 2004b). Funksjonaliteten beskrives av valgte karakteristiske egenskaper med ytelser som kan måles. Ytelsene vil variere med tid, og sammen med kravet om ytelsesnivå bestemmes levetiden. Rent praktisk avgjøres levetiden av den egenskapen som først havner under uakseptabelt nivå.

Forutsetninger som legges til grunn for å oppnå ønsket levetid omfatter materialvalget, utformingen av konstruksjonen, eksponering for ytre klima, vedlikehold og skjerpede ytelseskrav (Leland, 2008). Materialene må velges for å tåle planlagt eksponeringsgrad. Antatt levetid til materialer oppgis gjerne av produsenter, men lokal erfaring bør også vektlegges. Konstruksjonen avgjør hvor store påkjenninger materialene utsettes for og hvordan disse skal fungere sammen. Konstruksjonen bør planlegges slik at bygningsdeler som trenger hyppig utskiftning er lett tilgjengelig for vedlikehold og demontering uten at man må rive øvrige deler av konstruksjonen. Dette er prinsippet om lagdeling. Lagene er gjerne oppdelt som i Tabell 2.2, med tilhørende typiske levetider (Merrild mfl., 2018). Dette fremstilles ofte som i Figur 2.10.

Tabell 2.2: Typisk lagdeling med tilhørende levetider (Merrild mfl., 2018)

Bygningsdel	Levetid [år]
Fundament	100+
Bæresystem	50+
Fasade	30+
Innervegger og installasjoner	10+
Innredning	1+

Ytre påkjenninger vil i varierende grad opptre for de forskjellige bygningsdelene, noe som kan gi ulik nedbrytning av materialene på forskjellige steder av bygget. Typiske nedbrytningsmekanismer er solstråling, temperatur, fuktighet, vind og nedbør, store snømengder,



Figur 2.10: Typisk lagdeling basert på levetider. Første gang publisert av Brand (1995), siden revidert av Merrild mfl. (2018)

kjemikalier og dårlige grunnforhold. Ved godt planlagt og utført vedlikehold kan nedbrytningen bremses ved forebyggende vedlikehold eller delvis reverseres ved reparasjon eller utbedring (Leland, 2008).

#### 2.4.2 Sirkulære bygninger

Begrepet “sirkulære bygninger” er ikke allment kjent og har ingen formell internasjonal definisjon. Mye eksisterende forskning på sirkulære bygninger fokuserer på avhendingsfasen, noe som har ført til økt fokus på rivingsavfall og resirkulering av dette. Implementasjon av nye forretningsmodeller er kanskje det største hinderet for implementasjon av sirkulære bygninger, men også den viktigste forutsetningen. Til tross for dette er konseptet lite vektlagt i eksisterende definisjoner (Nappen, 2019). FutureBuilt (2020) har sammen med Asplan Viak og SINTEF Byggforsk valgt å definere sirkulære bygg slik:

*Et sirkulært bygg skal legge til rette for ressursutnyttelse på høyest mulig nivå, og bestå av minst 50 prosent ombrukte og ombrukbare komponenter*

Definisjonen har som hensikt å motivere til ombruk og sirkulære prinsipper ved rehabilitering, riving og nybygg. Den fokuserer i hovedsak på materialer og komponenter i forbindelse med sirkulær økonomi, og ikke på organisatoriske forhold. Forskning viser at ressursoptimalisering er en av de områdene hvor byggebransjen har størst nytte av å implementere sirkulære prinsipper (Nappen, 2019). Ettersom denne oppgaven søker mot å avdekke satsingsområde for effektiv reduksjon i klimagassutslipp ved ombruk i byggebransjen slik den er i dag, er definisjonen brukt som grunnlag for videre vurdering av bygningers egnethet til bevaring, ombygging og ombruk. Med FutureBuilt (2020) sin definisjon følger forslag til kriterier og krav for sirkulære bygg. Kriteriene er delt opp i fem tema som reflekterer god ressursbruk i ulike faser av en bygnings levetid. Disse er som følger:

1. Miljøbasert beslutning om rehabilitering eller riving.

2. Ressursutnyttelse i rive- og byggefase.
3. Ombruk av bygningsdeler.
4. Ombrukbarhet.
5. Endringsdyktighet.

For å oppnå standard som FutureBuilt sirkulært bygg må punkt 2, 3, 4 og 5 imøtekommes for alle prosjekter. Punkt 1 må oppfylles der det allerede eksisterer bygg på tomten. De følgende kravene til sirkulære bygg er hentet direkte fra FutureBuilt (2020).

### 1. Miljøbasert beslutning om rehabilitering eller riving

- Der det finnes eksisterende bygg på tomten skal det gjennomføres en grundig vurdering for å avgjøre hva som miljømessig sett er det beste alternativet med tanke på spørsmålet om fortsatt vedlikehold og reparasjon, grad av rehabilitering eller riving.
- Vurderingen skal gjennomføres av et tverrfaglig team av rådgivere og også utførende, slik at alle fordeler og ulemper ved alternativene kommer fram.

### 2. Ressursutnyttelse i rive- og byggefase

#### Rivefase

- Det skal gjøres rede for hvordan ressursutnyttelse i rivefase er planlagt og gjennomført.
- Ombrukbare komponenter skal kartlegges med tanke på potensialet for ombruk tidlig i prosjektet, slik at materialverdiene synliggjøres for de prosjekterende.
- Ombrukbare komponenter som ikke benyttes i prosjektet, skal tilgjengeliggjøres for eksterne interessenter eller søkes levert tilbake til produsent.
- Det må avsettes tilstrekkelig tid til selektiv riving/skånsom demontering og krav om rivemetode må innarbeides i anbudsdokumenter og kontrakter. Demontering og sikring av komponenter for ombruk spesifiseres i rivebeskrivelsen, og det settes krav til oppgaveforståelse og referanser ved tildeling av kontrakt.

#### Byggefase

- Det skal gjøres rede for hvordan ressursutnyttelse i byggefase er planlagt og gjennomført.
- I byggefase skal avfall søkes minimert. Kapp, svinn, emballasje samt feilbestilte produkter og overskuddsvarer skal i størst mulig grad begrenses. Der det likevel oppstår, skal det settes inn tiltak for å utnytte disse ressursene.
- Nye produkter (feilbestillinger og overskuddsvarer) skal ikke kastes, disse skal leveres tilbake til produsent, eller tilgjengeliggjøres for interne og eksterne interessenter.

### 3. Ombruk av bygningsdeler

- Til sammen skal minst 50 prosent av komponentene i prosjektet, (regnet etter vekt, eksklusiv grunn og fundament) være ombrukte eller ombrukbare i henhold til punkt 3. og 4. Det er opp til prosjektet å definere tilnærming og fordeling på ulike tiltak.
- I nybygg skal minst 20 prosent av komponentene (regnet etter vekt, eksklusiv

grunn og fundament) være ombrukte, og ombruk skal gjennomføres for minst 10 komponenttyper, definert som ulike bygningsdeler i henhold til bygningsdelstabellen, tosifret nivå.

- I rehabiliteringsprosjekter skal minst 50 prosent av eksisterende bygningskonstruksjoner ivaretas (regnet etter vekt, eksklusiv grunn og fundament). Ivarertagelse av eksisterende bygningskonstruksjoner teller som ombruk i ombruksregnskapet. I tillegg skal minst 10 prosent av komponentene som tilføres bygget være ombrukte, og ombruk skal gjennomføres for minst 5 komponenttyper, definert som ulike bygningsdeler i henhold til bygningsdelstabellen, 2-sifret nivå.
- Lokal gjenvinning av masser kommer i tillegg.

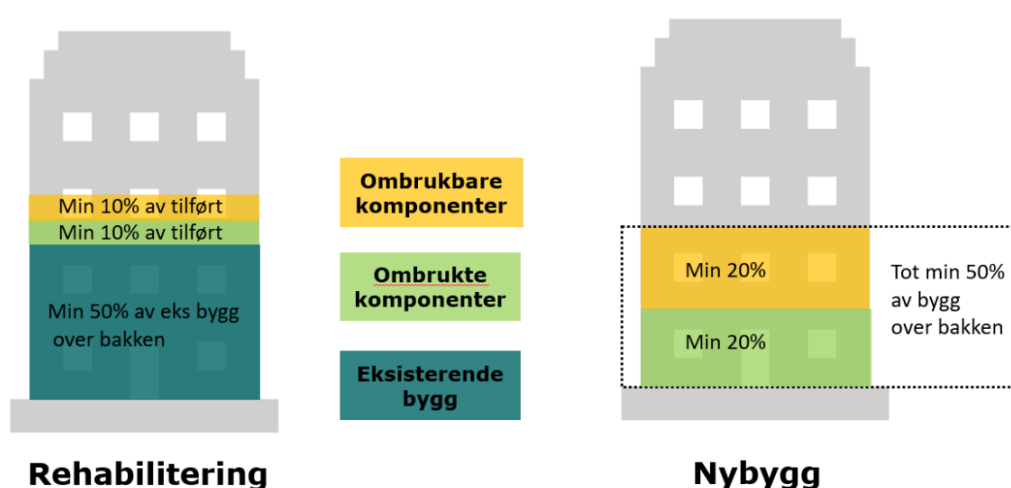
#### 4. Ombrukbarhet

- Til sammen skal minst 50 prosent av komponenter i prosjektet være ombrukte eller ombrukbare i henhold til punkt 3. og 4. Det er opp til prosjektet å definere tilnærming og fordeling på ulike tiltak.
- I nybygg skal minst 20 prosent av komponentene være ombrukbare, regnet etter vekt. Tiltak skal gjennomføres for minst 10 komponenttyper, definert som ulike bygningsdeler i henhold til bygningsdelstabellen, 2-sifret nivå.
- I rehabiliteringsprosjekter skal 10 av komponentene som tilføres bygget være ombrukbare, og tiltakene skal gjennomføres for minst 5 komponenttyper.

#### 5. Endringsdyktighet

- Ved prosjektering av sirkulære bygg må det gjøres rede for hvordan strategier for endringsdyktighet er anvendt.

De ulike kravene til ombruk i rehabiliteringsprosjekter og i nybygg er fremstilt i Figur 2.11.



Figur 2.11: Kvantitative krav til ombruk og ombrukbarhet for sirkulære bygg (Future-Built, 2020)

### 2.4.3 Arkitektoniske stilarter fra 1945 til 1995

Den arkitektoniske stilen vil påvirke hvorvidt det er ønske om å ombygge eller ombruke deler, eller hele bygninger. Visse stiltyper er mer verdsatt i dagens samfunn av rent estetiske årsaker. Dette fører umiddelbart til en større vilje for ombruk. SINTEF Byggforsk (1995) påpeker at eldre bygninger ønskes ivaretatt, mens halvgamle hus fra 50-, 60-, og 70-tallet ikke er ønsket. Bygninger med tidstypisk arkitektonisk stilart representerer samfunnet på den tiden de ble oppført. Utforming, materialbruk og fargevalg er med på å gi bygningen sin identitet. Økt bevissthet rundt verdien av arkitekturhistorien i vår nære fortid kan bidra til et økt ønske om å forlenge levetiden på både bygninger og deres materialer (SINTEF Byggforsk, 1995). Rent teknisk vil stiltype også påvirke på et strukturelt plan. Takhøyde, størrelse og utforming på vinduer og om det er søyle- eller skivekonstruksjon, er eksempler på sentrale aspekter. Endringsdyktighet, nærmere beskrevet under Avsnitt 2.5, har vært tema i enkelte perioder (Leland, 2004). Dette er et viktig konseptet som driver rehabiliteringer framfor riving og nybygg. Materialbruk og -sammensetning er også tidstypisk og følger utviklingen innen materialteknologi og produksjonsmetoder. En forståelse for materialbruken kan fås ved å se bygget i en historisk kontekst.

Norsk byggestil fra 1945 er preget av store samfunnsmessige omveltninger. Fra gjenreisningen etter 2. verdenskrig med materialknapphet, til byggeboom og overflod på 80-tallet. Arkitekturen fra 1945 til 1980 er sterkt preget av endringer i produksjon, konstruksjons- og prosjekteringsmetodikk. En kraftig driver er utviklingen av nye materialer. Årene 1945 til 1960 var preget av etterkrigsfunksjonalisme og gjenreisning. Materialknapphet, rasjonering og Husbankens arealbegrensning bidro til en nøktern byggeskikk basert på tradisjonelle teknikker. I byene dominerte pusset eller slemmet tegl med en gradvis overgang til betong og isolasjon. Byggene var enkle med blokkpreg, typisk med to- eller trefags vinduer utskåret i fasaden (SINTEF Byggforsk, 1995).

Fra 60-tallet er byggeskikken preget av utvikling av nye materialer, produksjonsmåter og bygningsteknikk. Fasader og hele bygg bærer preg av nye utformingsmuligheter. Fra 60- og utover 70-tallet bygges nye næringsbygg som banker og hoteller samt skoler, universiteter, kirker og sykehus. Høyhusarkitektur med materialer som stål, betong og glass gjør seg gjeldende i tråd med utenlandske impulser. Flatt tak blir regnet som både tidsriktig og moderne. Store byggeprosjekter gjennomføres og går gjerne på bekostning av trivsel i omgivelsene (SINTEF Byggforsk, 1995).

Skivestilen gjorde sitt inntog tidlig på 60-tallet. Tverrgående vegger i blokker ble bærende, mens ytterveggeve kunne lages som ikke-bærende og godt isolerte. I store bygg benyttes gjerne tynne platematerialer i asbestement, metall, PVC og lettbetong. Også her er flate tak dominerende med firkantede bygningskropper. Horisontale vindusbånd og utstikkende skiver fremhever en fasade oppdelt i rektangler av ulike farger og størrelser. Nærmere midten på 60-tallet blir prefabrikkerte elementer vanlig, og elementstilen gjør seg gjeldende. De monteres gjerne slik at det klart synes hvordan bygget er satt sammen. Rektangulære bygg med flatt, lite synlig tak og lange tverrgående vindusfelt eller rytmisk plasserte enkeltvinduer, er vanlig. Betong er svært mye brukt (SINTEF Byggforsk, 1995).

Siste halvdel av 60- og første av 70-tallet kommer brutalismen som en reaksjon til den abstrakte modernismen på 30-tallet. Solide bygg med robuste uttrykk og materialtyngde

er i vinden. Konstruktive betongelementer som søyler og bjelker overdimensjoneres og gjøres fremtredende i fasader for å demonstrere datidens ingeniørkunst. Strukturalismen får langvarig innpass, fra slutten av 60- til midten av 80-tallet. Stilarten er et svar på søken etter å finne en løsning som fremmer muligheten til forandring, vekst og tilpasning etter brukerens behov. Et gridsystem danner grunnmønsteret og det bærende skjelettet til bygget. Inndelingen tillater endringer innenfor rammene av rutenettet. Innvendig kan oppdeling og seksjonering endres fritt og oppbyggingen av fasaden trenger kun forholde seg til horisontale dekker og vertikale søyler. Ideen om å tilføre eller fjerne elementer etter behovene gjør seg gjeldende står sterkt (SINTEF Byggforsk, 1995). Leland (2004) trekker fram denne stilarten som spesielt endringsdyktig.

Regional modernisme er en stilart, med hovedvekt i 70-årene, som la vekt på det naturorienterte og organiske og kan sees på som et motsvar til hard modernisme og rigid strukturalisme fra 60-tallet. Tilpasning i landskapet og en friere oppbygging av bygningskroppen står sentralt. Ulike vinkler i tak og fasade sørger for et mer buktende utseende med et mykt uttrykk. Naturlige materialer står særlig sterkt ved bygging av private hjem (SINTEF Byggforsk, 1995).

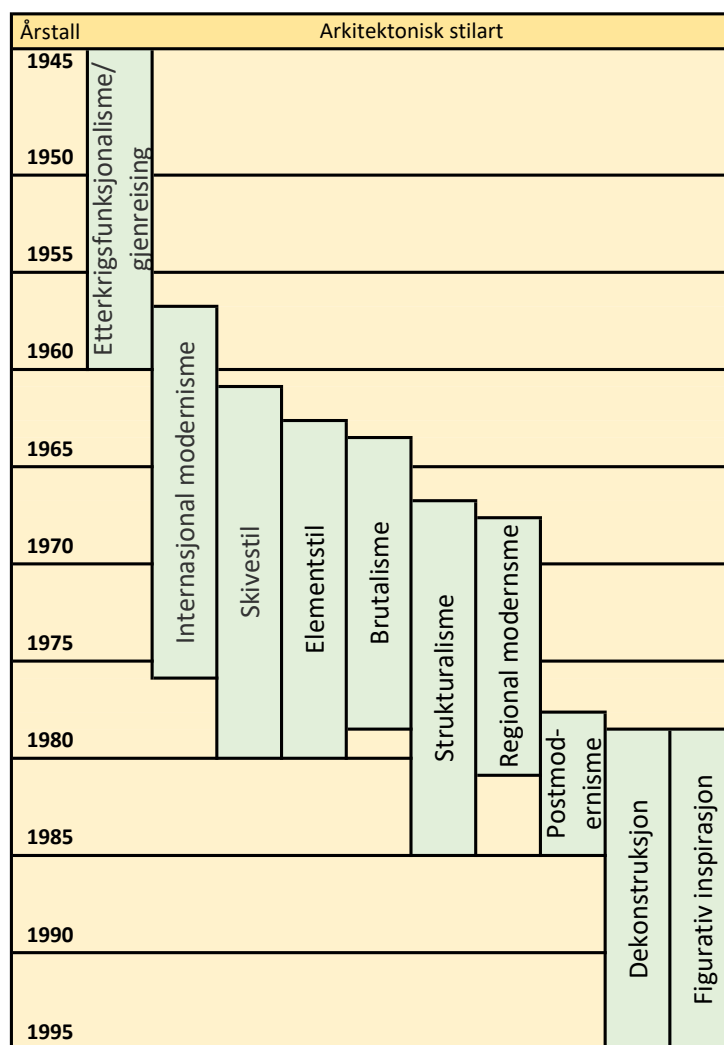
Rundt 1980 gjennomgår byggestilen en endring der det enkle og nøkterne erstattes med variasjon og dekorasjon i de store byggeprosjektene. Postmodernismen, preget av historiske former som søyler og tempelgavler kombinert på en lekende måte, får kortvarig innpass i byggestilen. Dekonstruksjon og figurativ inspirasjon får en heller større rolle. Her benyttes typisk glass over overbygde installasjoner og for å fremme avanserte tekniske installasjoner. Også rør, stålbjelker og søyler fremmes for å vise til hvilken avansert teknologi som var tilgjengelig på denne tiden. Dekonstruktivismen søker mot å bryte mot tradisjonell byggeskikk ved å benytte former og volumer som ikke logisk hører sammen. Ulike byggematerialer kombineres åpenlyst, samtidig som spinkle støttesystemer i fargede metallrør gir inntykk av ustø konstruksjoner. Figurativ inspirasjon tar utgangspunkt i det billedlige ved å spille på assosiasjoner. Bruk av naturformer, innpassing i landskapet og fri håndtering av elementer fra lokal byggeskikk er vanlig (SINTEF Byggforsk, 1995). En gjengivelse av stilartene etter SINTEF Byggforsk (1995), er presentert i Figur 2.12.

#### 2.4.4 Ombrukspotensiale i kontorbygg

I eksisterende litteratur står kontorbygg fram som en bygningstype med stort potensiale for bevaring, ombygging og ombruk, på grunn av tilgjengelighet, organisatoriske og bygningsmessige forhold. Særlig har vellykkede forbildeprosjekter bekreftet dette potensialet. Nevnte forhold blir nærmere forklart i de kommende avsnittene.

Arealutviklingen i kontorbygg gjennom tidene avhenger av en rekke faktorer, som befolkningsvekst, økonomisk utvikling, endringer i næringsstruktur og arealkostnader. Det er utfordrende å finne gode tall på den historiske arealutviklingen og det finnes få tall som dokumenterer riving og rehabilitering (NVE, 2019). Det finnes dermed ingen komplett detaljert oversikt over bygningsmassen i Norge fordelt på bygningstyper og alder. Gjennom Enova (2017) sin bygningsstatistikk for 2017 er det mulig å få et inntrykk av fordelingen, men som de selv påpeker: "Bygningene i utvalget har stort sett mottatt støtte fra Enova, hvilket innebærer at utvalget i statistikken ikke nødvendigvis er representativt for bygningsmassen i Norge". I deres utvalg av totalt 2256 bygg, er kontorbygg representert med 23 prosent. Disse har en gjennomsnittlig alder på 39 år, med hovedtyngde rundt år 1978.

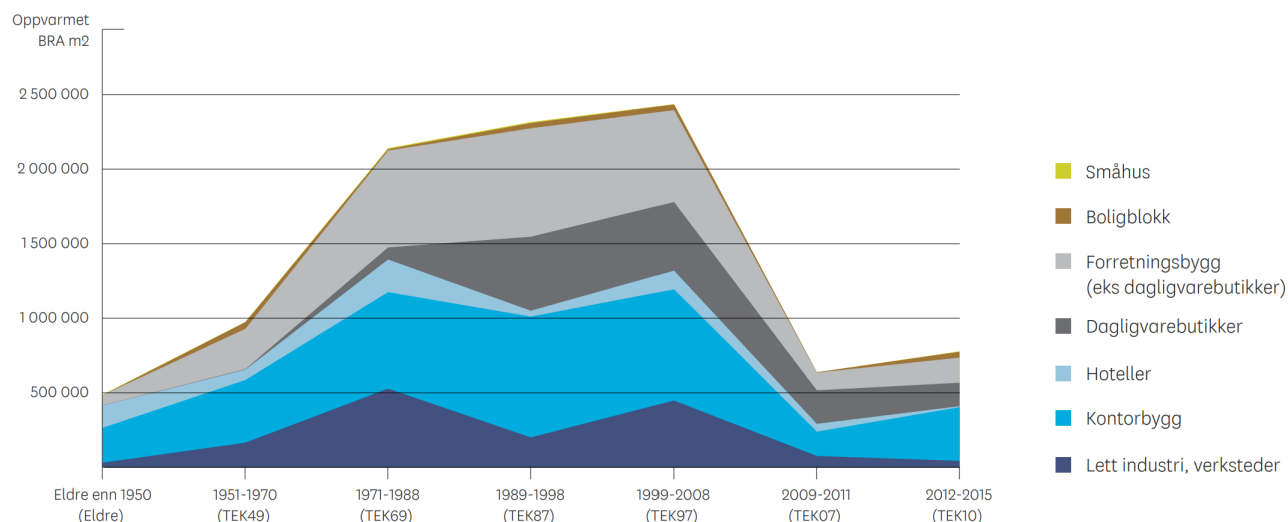




Figur 2.12: Arkitektoniske stilarter fra 1945 til 1995. Basert på SINTEF Byggforsk (1995)

Fordelingen er presentert i Figur 2.13. For denne rapporten legges det mer vekt på alderen til dagens kontorbygg enn antall og areal. Dette for å danne beslutningsgrunnlag for hvilken tidsepoke som er mest interessant ved analyse av ombrukspotensiale. Et grovt estimat av totalt areal av Norges kontorbygg er likevel ønskelig. THEMA Consulting Group (2013) har estimert at det per 2012 fantes omkring 28 millioner m<sup>2</sup> kontorbygg i Norge. Ved å benytte seg av nybyggings- og rivingsraten fra samme rapport på henholdsvis 1,9 og 0,5, ender man opp med et anslag på 31,7 millioner m<sup>2</sup> i 2021. Tar man utgangspunkt i gjennomsnittlig oppvarmet areal per kontorbygg fra Enova (2017) på 8125 m<sup>2</sup>, tilsvarer dette omtrent 3900 kontorbygg.

I dag er kontorbygg gjerne eid av selskap som selv bruker lokalene, eller av større selskap som leier ut til flere leietakere med ulike behov. For å få leid ut lokalene sine til en akseptabel pris, må lokalene være innbydende og kunne tilfredsstillende brukernes krav. Dette krever endringsdyktige bygg med god teknisk standard. Dersom bygg ikke møter dagens standard eller brukernes behov vil eiendomsselskap ofte konkludere med økt lønnsomhet ved riving og nybygg eller renovering av det gamle bygget. Dette oppgraderingspresset er en klar driver av riving av byggemasse før dimensjonert levetid er nådd.



Figur 2.13: Fordeling av oppvarmet areal etter bygningstype og bygningsperiode for private bygg (Enova, 2017)

Store eiendomsselskap med kontorbygg i sin portefølje er interessante, da de med riktig motivasjon kan gjennomføre større totalrehabiliterings- og ombruksprosjekter. Særlig nå som bransjen enda ikke er tilpasset et sirkulært tankesett, vil ressurssterke selskap kunne ta en viktig rolle for å drive bransjen i riktig retning. Prosjekter som dette finnes det allerede flere vellykkede eksempler på. Powerhouse Kjørbo er to ordinære kontorblokker fra 80-tallet som ble totalrehabilitert for å imøtekomme dagens standard og produsere mer energi enn det bruker. Bærekonstruksjonen ble beholdt og glassfasaden ble gjenbrukt. Bygget oppnådde BREEAM Outstanding som første rehabiliterte kontorbygg (FutureBuilt, 2014). Det åtteetasjers MAX-bygget i Trondheim er et kontorbygg fra 1987. Bygget ble totalrehabilitert og ombygget for å gi bygget et nytt uttrykk og for å imøtekomme dagens krav til energieffektivitet og økte krav fra leietakere. Bærekonstruksjonen i plasstøpt betong ble beholdt, noe som førte til store reduksjoner i klimagassutslipp. Bygget oppnådde BREEAM Outstanding. Et prosjekt enda mer ambisiøst når det kommer til ombruk, er Kristian Augusts gate 13 i Oslo. Bygget er et åtteetasjers kontorbygg fra 50-tallet som nå oppgraderes etter sirkulære prinsipper, i tillegg til et tilbygg på 60 m<sup>2</sup>. Prosjektet benytter seg av en stor mengde ombruksmaterialer fra eksisterende bygg som for eksempel bæresystem, radiatorer og tilbakeføring av innvendige overflater. Samtidig skal det ombrukes bygningsdeler fra andre bygg som for eksempel stål, hulldekker, sanitærutstyr, fasadeplater, radiatorer, dører og glassfasader (Nordby, Lunke mfl., 2021).

Teknisk sett er kontorbygg av interesse av flere grunner. Dette er større bygg i flere etasjer hvor utforming og materialbruk er forholdsvis lik fra etasje til etasje. Dette gjør ombruksplanlegging enklere da vurderinger for én etasje ofte gjelder bygget generelt. Størrelsesorden på prosjektet og det repetitive byggemønsteret fører til store mengder med like bygningsprodukter, som igjen fører til en mer industrialisert ombruksprosess. Når det kommer til materialkvalitet er denne, og dermed ombruksverdien, varierende. Kontorbygg oppføres i svært varierende kvaliteter. Fra monumentale bygninger med tydelig kvalitetspreg til enkle minimalistiske konstruksjoner med tydelig begrenset budsjett. Disse kvalitetsbyggene er umiddelbart av interesse for videre ombruk.

## 2.5 Endringsdyktighet

Endringsdyktighet er kanskje den mest avgjørende faktoren ved vurdering av riving eller rehabilitering av kontorbygg. Prinsippet er i begrenset grad omfavnet av dagens byggebransje. Som nevnt under Avsnitt 2.3.2, defineres endringsdyktige bygninger som bygninger som kan tilpasses annen bruk enn det som var tiltenkt da bygget ble planlagt og oppført (Leland, 2008). Bygninger er gjerne planlagt for å romme en definert aktivitet uten å planlegge for hva som skjer hvis aktiviteten endres eller opphører helt. Tilpasning blir gjerne da ikke gjennomførbart hverken arkitektonisk, funksjonelt eller teknisk. Leland (2008) nevner prinsippene fleksibilitet, generalitet og elastisitet for økt endringsdyktighet.

### 2.5.1 Fleksibilitet

En fleksibel konstruksjon kjennetegnes ved at den med enkle bygningsmessige inngrep kan endres innenfor hoveddrammene til å imøtekomme vekslende funksjonelle krav (Leland, 2008). Dette gjelder både bygningsmessige og tekniske endringer (Arge, 2003). For et kontorbygg vil fleksibilitet oppnås ved at vegger enkelt kan flyttes for å endre rominndeling, samt at tekniske løsninger kan tilpasses nye behov. Skillevegger må være ikke-bærende og vinduer på være plassert slik at tilfredsstillende innslipp av dagslys kan oppnås selv etter flytting av vegger. Tiltak for oppnåelse kan være bærende søyler i gridsystem med store spennvidder, strategisk plassering og utforming av tekniske installasjoner og en byggedybde som gir gode dagslysforhold ved ombygging. Tidligere handlet endringsdyktighet i kontorbygg mest om å kunne flytte innvendige skillevegger. Kontorbygg flest var organisert med cellekontor til de ansatte. Størrelsen på cellen varierte og reflekterte ofte ens plassering i lederhierarkiet i bedriften. Ved organisatoriske endringer kunne dermed endring av kontorstørrelser bli viktig (Arge, 2003).

### 2.5.2 Generalitet

Generalitet er en bygnings evne til å imøtekomme vekslende funksjonelle krav uten å forandre egenskapene til bygget (Arge, 2003). Dette oppnås ved at en konstruksjon uten bygningsmessige inngrep kan brukes til flere funksjoner. For eksempel ved å planlegge for romslig utforming og med stor etasjehøyde. I dag er generalitet et viktig konsept i kontorbygg ettersom man i større grad enn tidligere ønsker generelle rom som kan romme varierende aktiviteter. Generalitet er muligens blitt mer viktig enn fleksibilitet da kontorarbeid er i sterk endring, og bygninger må kunne tilpasses ulike formål uten bruk av store ressurser (Arge, 2003).

### 2.5.3 Elastisitet

Elastisitet er et uttrykk som kan brukes for en konstruksjon som kan krympe eller vokse for å imøtekomme nye brukerkrav. En konstruksjon har potensiale for elastisitet hvis den har enheter som kan brukes sammen eller hver for seg, og den er prosjektert for fremtidige utvidelser. Sistnevnte kan for eksempel imøtekommes ved overdimensjonering av bæresystem slik at det senere kan bygges på en ekstra etasje. Bedrifter endrer seg i dag i en raskere takt enn tidligere. Fusjoner, fisjoner, konkurser, oppkjøp, raske ekspansjoner eller det motsatte nevnes i Arge (2003) som viktige drivere til at bruks- og leiekontrakter er blitt mye kortere enn før. Kontorbygg som planlegges i dag er dermed i større grad tilrettelagt for oppstyking, salg og utleie av flere separate enheter.

## 2.6 Vurderingskriterier for rehabilitering framfor riving

Ved vurdering av rehabilitering eller riving vil bygningsmessige, miljømessige og organisatoriske forhold spille inn. De mest sentrale vurderingskriteriene presentert i de kommende avsnittene er basert på litteraturens anbefalinger for endringsdyktige kontorbygg, som presentert i Avsnitt 2.5. Disse vil være avgjørende for hvorvidt en byggeier ønsker å rehabilitere framfor å rive.

### 2.6.1 Tomt

Bygningens plassering må oppleves som attraktiv for at en byggherre skal kunne finne leietakere eller kjøpere. Sentrumsnære bygg eller bygg plassert i populære næringsområder vil ha en høyere verdi for en aktuell kjøper eller leietaker og vil dermed kunne generere mer inntekter. Dette igjen fører til en høyere investeringsvillighet i bygninger med attraktiv plassering. På grunn av høyere utleie- og salgspris vil byggherrer kunne bli oppfordret til å optimalisere tomt og bygg ved å bygge så stort og arealeffektivt som mulig. I slike tilfeller vil riving av eksisterende bygningsmasse ofte bli aktuelt. Miljømessig bør bygget ha nærhet til offentlig transport, som buss og bane. Desentral beliggenhet vil gjennom livsløpet ha stor miljøpåvirkning i form av klimagassutslipp som følge av transport av varer og personer til og fra bygget (Arge og Landstad, 2002).

Plassering av bebyggelse på tomt kan være avgjørende for om et bygg rives eller ikke. Byggets plassering bør tillate eventuelle utvidelsesmuligheter vertikalt i form av ekstra etasjer, eller horisontalt på uutnyttet tomt. I beste fall er det allerede i byggefasen av eksisterende bygg planlagt for påbygg eller oppføring av nytt bygg. Plasseringen vil også påvirke hvorvidt et bygg tilfredsstillende aktuelle miljøkrav, blant annet med tanke på optimal solutnyttelse (Arge og Landstad, 2002).

### 2.6.2 Estetikk

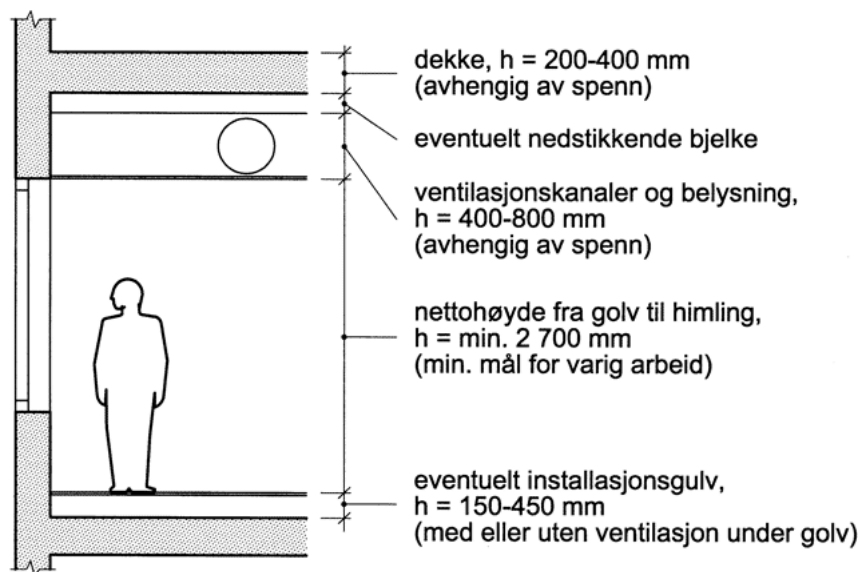
God arkitektur vil ha stor innvirkning på brukernes trivsel, besøkendes oppfatning av bedriften og på potensielle leietakeres, eller kjøperes, syn på bygningen. Kortsiktig økonomisk tankegang med lite fokus på estetikk og godt materialvalg, kan i det lange løp gi dårlig økonomisk resultat hvis dette medfører at bygningen får lavere utleie- eller salgsverdi. I mange tilfeller kan god arkitektur kompensere for andre viktige forhold. Det finnes mange eksempler på bygninger som i liten grad tilfredsstillende funksjonelle krav, men brukes og ivaretas på grunn av "sjel" og "image" (Arge og Landstad, 2002).

### 2.6.3 Bygningens mål

#### Etasjehøyde

Etasjehøyden er avgjørende for om en bygning kan brukes til ulike formål. Valgt etasjehøyde er et resultat av ønske om flest mulig etasjer innenfor gjeldende reguleringsplan, ønske om gode lysforhold, valg av konstruksjonssystem og tekniske løsninger og plassering av sjakter (Arge og Landstad, 2002). I følge Arbeidstilsynet (2021) bør romhøyde i arbeidsrom ikke være under 2,7 meter. Romhøyden skal ikke være under 2,2 meter der det er påregnet at mennesker skal stå oppreist. Ved tilrettelegging for permanente arbeidsplasser i hele bygningsbredden vil en brutto etasjehøyde på 3,6 meter vanligvis gi tilstrekkelig plass til installasjoner, som vist i Figur 2.14 (SINTEF Byggforsk, 2004a). Ved

nedstikkende bjelker eller behov for ekstra store ventilasjonskanaler kan en ha behov for større brutto etasjehøyde. Arge og Landstad (2002) setter 3,1 meter som anbefalt minste etasjehøyde. I disse tilfellene blir tekniske installasjoner gjerne presset inn i bestemte soner med himlingshøyde ned mot 2,2 meter. Det vil si lavere enn kravet til permanente arbeidsplasser. Dermed reduseres fleksibiliteten. Ved slike etasjehøyder kan skreddersydde løsninger for ventilasjon, rørføringer og støydemping være aktuelt. Ved totalrenovering av MAX-bygget i Trondheim måtte himlingsplater og ventilasjon planlegges for å passe til etasjehøyden på omkring 2,8 meter. Løsningen var å installere to mindre ventilasjonssystemer i hver etasje som benytter fortrenningsventilasjonsprinsippet.



Figur 2.14: Prinsippskisse med typiske høydebehov (SINTEF Byggforsk, 2004a)

Store etasjehøyder vil ivareta fleksibiliteten, men øke energibehovet til oppvarming grunnet økt transmisjonstap gjennom yttervegger. I tillegg vil materialbruk, og kostnaden knyttet til denne, øke proporsjonalt med etasjehøyden. Redusert etasjehøyde vil kunne muliggjøre bygging av en ekstra etasje. I så tilfelle vil en eier kunne se økt lønnsomhet i å redusere etasjehøyden til tross for at dette går på bekostning av fleksibilitet (Arge og Landstad, 2002).

### Bygningsdybde

Bygningsdybde er sammen med brutto etasjehøyde viktig for å oppnå generalitet i kontorbygg. Bygningsdybden er kritisk for tilgang på både dagslys og utsyn, samt bygningsarealeffektivitet og evne til å tilpasse seg ulike innredningsløsninger (Arge og Landstad, 2002). Studier viser at det finnes en klar sammenheng mellom trivsel og bygningsdybde (Leaman og Bordass, 1999). Bredder over 15 meter vil gjøre midtsonen mindre attraktiv til arbeidsplasser, da dagslyset ikke kommer lengre inn enn 2-2,5 ganger avstand fra golv til himling. Arealer uten tilfredsstillende tilgang på daglys kan benyttes til støttefunksjoner som gang, møterom og korttidsarbeidsplasser (Arge og Landstad, 2002). SINTEF Byggforsk (2004a) oppgir 15-17 meter som optimal bygningsdybde. Denne tillater ulike innredningsløsninger og samtidig akseptabel arealeffektivitet. Hvis det er parkeringskjeller i bygget bør 17 meter benyttes.

Miljømessig sett er bygningens dybde en sentral faktor for transmisjonstap og tilskudd av sollys gjennom byggets fasade. I varme perioder kan store overflater føre til økt kjølingsbehov grunnet økt solinnstråling. Ettersom smale bygg har større overflateareal enn brede bygg med tilsvarende gulvareal, vil slike bygg ha økt varmetap i kalde perioder. Redusert bygningsdybde vil derimot ha noe mindre energibehov til kunstig belysning (Arge og Landstad, 2002).

### 2.6.4 Bæresystem

#### Konstruksjonssystemet

Konstruksjonssystemet er avgjørende for å utføre endringer i løpet av bygningens levetid. Det bør være planlagt for hvilke konstruksjonsdeler som skal være permanente og hvilke som skal skiftes ut. Permanente deler bør være planlagt for generalitet og føring av tekniske installasjoner. Flate dekker gjør føring av slike installasjoner lettere (SINTEF Byggforsk, 2004a).

#### Spennvidde og søylesystemet

Søyler og bærende vegger bør helst unngås i arealer som skal romme ulike typer arbeidsplasser. I slike tilfeller vil store spennvidder gi bedre generalitet. Spenn på 17 meter vil kreve tykke dekker, så løsninger med kortere spennvidder og én søylerekke kan være en mer optimal løsning (SINTEF Byggforsk, 2004a). Senteravstand mellom søylene bør da være omtrent 5-8 meter for å ikke gå på bekostning av fleksibiliteten. Tidligere var det vanlig i Norge med fasadesøyler delvis utenfor innverlivet i fasaden, noe som førte til grunne nisjer på innsiden av bygget. Fasadesøyler plassert inne i veggen gir slette vegger og dermed større fleksibilitet (Arge og Landstad, 2002).

#### Tilrettelegging for senere økt belastning

Bygg bør være dimensjonert for økt belastning for å kunne endre aktivitet i bygget, eller for å senere kunne bygge på eventuelle ekstra etasjer i høyden. En økning i kapasitet fra for eksempel 3 til 4 kN/m<sup>2</sup> for dekket vil gi høy grad av generalitet og elastisitet (SINTEF Byggforsk, 2004a).

### 2.6.5 Fasade

#### Fasadeendringer

Fasadeendringer er essensielt ved oppgradering av eksisterende bygninger til dagens tekniske og estetiske standard. Fasadeendringer vil også være aktuelt ved ombygginger og utvidelser av bygget i løpet av levetiden. Fasader bestående av demonterbare standardiserte eller prefabrikkerte elementer er best egnet (SINTEF Byggforsk, 2004a).

#### Vinduer

Når vindushøyden økes vil dagslyset trenge lengre inn i rommet og tilrettelegge for arbeidsplasser over hele gulvflaten. Både mengde lys og inntrengingsevne vil øke hvis det benyttes et høyt og smalt vindu framfor et bredt og lavt (SINTEF Byggforsk, 2001). Ved rehabilitering vil endring av eksisterende vindusdimensjoner ofte være viktig. Fasaden må kunne tilpasses slike endringer.

### 2.6.6 Innvendige vegger

Innvendige vegger bør være oppført som demonterbare lette vegger, gjerne prefabrikkerte. Slik kan byggets oppdeling enkelt endres ved endringer i brukerkrav (SINTEF Byggforsk, 2004a).

### 2.6.7 Himling

Ved minst 2,7 meter flat himling over hele etasjen oppnår en størst generalitet. Et horisontalt støydempende sjikt i himlingen gir tilfredsstillende lydisolering uavhengig av innerveggenes plassering. Ved føring av veggene helt opp til dekke eller ved bygging av skjørt vil lydisolasjonen forbedres, men innredningsmulighetene vil begrenses (SINTEF Byggforsk, 2004a).

## 2.7 Prinsipper for endringsdyktighet oppsummert

Arge og Landstad (2002) lister følgende krav til endringsdyktige kontorbygg. Stjernene antyder grad av endringsdyktighet.

### Tomt

- \*\*\* Attraktiv beliggenhet i sentrum, eller i attraktivt næringsområde med nærhet til servicefasiliteter, og gode adkomstforhold med offentlig transport og bil, gir størst finansiell fleksibilitet.

### Utvidelsesmuligheter

- \*\*\* Potensial for framtidig utvidelse ved at tomten er større enn det som kreves for å bygge i første omgang.
- \*\* Mulighet til å overta omkringliggende nabotomter eller nabobygninger.

### Plassering av bebyggelse på tomt

- \*\*\* Bygningen plasseres slik at den er tilrettelagt for framtidige oppdelinger og utvidelser både horisontalt og vertikalt.
- \*\* Bygningen plasseres slik at den er tilrettelagt for framtidige oppdelinger og utvidelser horisontalt eller vertikalt.
- \* Bygningens plassering på tomten er ikke spesielt tilrettelagt for framtidige oppdelinger og utvidelser.

### Estetikk

- \*\*\* Høy arkitektonisk kvalitet, positivt ”image”.
- \* ”Vanlig”, standardmessig utforming.

### Etasjehøyde

- \*\*\* Brutto etasjehøyde minimum 3,6 m for å oppnå forskriftsmessig himlingshøyde for permanente arbeidsplasser (minst 2,7 m) over hele etasjen.
- \*\* Brutto etasjehøyde 3,3-3,6 m.
- \* Brutto etasjehøyde 3,1-3,3 m.

### Bygningsdybde

- \*\*\* En bygningsdybde mellom 15 og 17 m gir god arealeffektivitet og fleksibilitet i forhold til ulike innredningsløsninger, særlig for planer med hovedvekt på åpne arbeidsplasser, men dårligere for tradisjonelle cellekontor langs fasaden. 17 m er minimum for bygninger med parkeringskjeller.
- \*\* En bygningsdybde mellom 15-12 m eller 17-20 m.
- \* En bygningsdybde mellom 10-12 m eller 20-25 m.

### Konstruksjonssystem

- \*\*\* Konstruksjonssystem der dekkene er tilnærmet flate på undersiden.
- \*\* Konstruksjonssystem der bærende elementer bygger maksimalt 100 mm ned fra undersiden av dekkene.
- \* Konstruksjonssystem der bærende elementer bygger maksimalt 200 mm ned fra undersiden av dekkene.

### Spennvidde og søyleplassering

- \*\*\* Spennvidde på 15-17 m for å få søylefrie lokaler. Fasadesøyler plassert inne i ytterveggkonstruksjonen, slik at veggen er plan.
- \* Spennvidder på ca. 4 m + 10-12 m med søylerad inne i kontorlokalet. Fasadesøyler plassert delvis inne i ytterveggkonstruksjonen slik at innside søyle maksimalt stikker 200 mm ut fra ytterveggens innerliv.

### Muligheter for økte belastninger

- \*\*\* Økning av den generelle lastkapasiteten utover Norsk standard (NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2019), fra 3 kN/m<sup>2</sup> til 4 kN/m<sup>2</sup> i hele bygget.
- \* Generell lastkapasitet for kontorbelastning.

## 2.8 Materialer og komponenter egnet for ombruk

Fra å analysere ombruk i bransjen generelt, har denne rapporten snevret seg inn mot eldre kontorbygg med bestemte forutsetninger som tillater rehabilitering framfor riving. Rehabilitering av denne typen bygg kan føre til ombruk av store deler av bygget. I dette delkapittelet vil først forutsetninger for effektiv ombruk presenteres kort, og siden materialer med særlig interesse for oppgaven.

### 2.8.1 Generelt

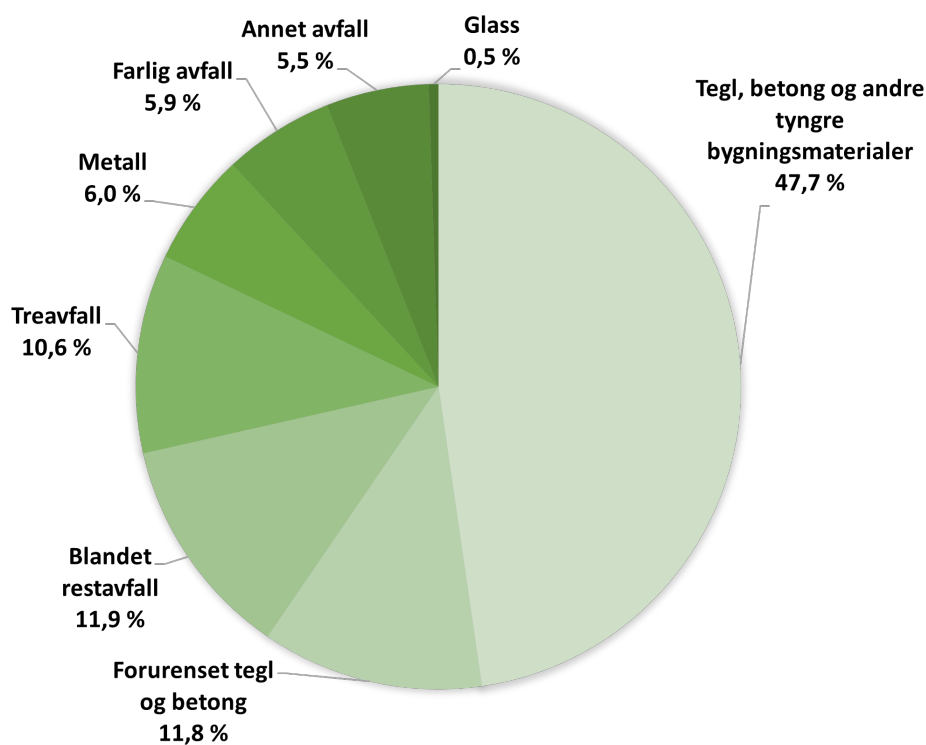
Om en byggevarer har ombrukspotensiale er en vurdering som må tas i hver enkelt situasjon, da flere faktorer spiller inn. Materialer mest aktuell for ombruk har i følge Leland (2008) høy råvarepris, med lang levetid som kan forsvares både teknisk og miljømessig. Videre nevner hun følgende grunnleggende forutsetninger for om et materiale kan egne seg til ombruk:



- Hvor lett vil det være å separere materialet?
- Hvor skadet er det?
- Hvor rent er det?
- Innebærer det noen helsemessig risiko ved å ta ut eller bearbeide materialet?
- Foreligger det noe relevant dokumentasjon av materialet eller konstruksjonen?

Med bakgrunn i litteraturen er det valgt å kun gå i dybden på to materialer. Materialene er valgt ut fra følgende kriterier:

- Et vesentlig volum tilgjengelig for ombruk nasjonalt og i det enkelte prosjekt.
- Effektivt ombruk er mulig med dagens regler.
- Energikrevende produksjonsprosess og problematisk råvareuttak fører til stor miljøgevinst ved ombruk.
- Andre forhold som påvirker ombrukbarheten til byggevaren, som innhold av helse- og miljøfarlige stoffer.



Figur 2.15: Avfallsmengder fra rehabiliterings- og rivingsprosjekter i 2019. Figur produsert med data fra Statistisk sentralbyrå (2020a)

Basert på en samlet vurdering er det valgt å fokusere på plasstøpte og prefabrikkerte betongkonstruksjoner og lastbærende elementer i stål. Betong og stål framstilles gjennom energikrevende produksjonsprosesser, og råvareuttaket ansees som problematisk. Grunnlaget for utvelgelse av de nevnte materialene støtter seg på en stor mengde eksisterende litteratur hvor materialene er utpekt til å ha særlig potensiale for ombruk. I tillegg legges det til grunn at materialene finnes i signifikante mengder, målt i vektprosent, i eldre bygningsmasse. Dermed kan ombruk føre til nevneverdige miljøbesparelser. For sistnevnte krav er den nasjonale avfallstatistikken for rehabiliterings- og rivingsarbeider brukt for å danne et bilde av hva som rives. I Figur 2.15 kan en se hvilke fraksjoner som er mest representert. Fra dette kan det gjøres antagelser om hvilke materialer som har et vo-

lum interessant for ombruk. Fordelingen er fremstilt etter data fra Statistisk sentralbyrå (2020a). Her går det tydelig fram at betong, tegl og andre tyngre bygningsmaterialer er mest representert. Andre materialer med ombrukspotensiale er treavfall, metall og glass (Kilvær mfl., 2019).

### 2.8.2 Lastbærende elementer i stål

#### Generelt

Stål er produsert gjennom en svært energikrevende prosess, men har til gjengjeld lang levetid gitt korrekt bruk. Stål må skjermes for korrosivt miljø og ikke utsettes for sykliske belastninger som gir risiko for utmattingsbrudd. Stål finner vi i alle deler av bygget som enten bærende eller ikke-bærende elementer og produkter. Eksempler er bjelker, søyler, skråbånd, kledning, taktekking eller beslag og i det tekniske systemet som ventilasjonsrør eller sprinkelanlegg (Sørnes mfl., 2014).

#### Miljøbesparelser ved ombruk

Jomfruelig stål framstilles ved raffinering av råjern og har et utslipp på ca 2,8 kg CO<sub>2</sub> ekv./kg stål. Stål framstilt utelukkende fra gjenvunnet stål har et utslipp på 1,35 kg CO<sub>2</sub> ekv./kg stål. Tallene inkluderer produksjon, fabrikasjon, montering, riving og transport. Ombruk stål har kun et utslipp på ca. 0,24 kg CO<sub>2</sub> ekv./kg stål. Dette er en reduksjon på omtrent 82 prosent sammenlignet med resirkulert stål og 91 prosent for jomfruelig stål (Kilvær mfl., 2019).

#### Hva egnes for ombruk?

Stål egner seg godt til ombruk. Andre metaller som aluminium, sink og kobber har også potensiale, men vil ikke bli videre beskrevet i denne rapporten. Komponenter som for eksempel beslag, rekkverk, tapper, rør, kabelgater, hengsler, stålbjelker, stålprofiler og bølgeblekk lar seg ombruke dersom de er uskadd og lett kan demonteres. Spesielt er ventilasjonkanaler i forsinket stål identifisert som en produktgruppe som har stort potensiale for ombruk. Metallkomponenter uten synlige skader kan ofte regnes som like god som ny, men man må likevel vurdere om komponenten kan demonteres uten å skades, om dimensjonene passer, hvilke laster er påført i bruksfasen, hvilken belastning vil påføres under demontering og om det finnes korrosjonsskader (Sørnes mfl., 2014).

Konstruksjonsstål fra før 1970 er ikke anbefalt for ombruk i følge Steel Construction Institute (2019), da partialfaktorene i datidens standarder ikke baserte seg på forskning. I følge Kilvær mfl. (2019) påpekes det at britiske SCI er enige i at boltet stål fra før 1970 kan brukes, men ikke sveist. Videre anbefales det å ikke bruke stål fra før 1965 da dette stålet har dårlig sveisbarhet. I Widenoja mfl. (2018) er det utarbeidet en oversikt over brukte stålkaliteter etter forskjellige standarder gjennom en tidsperiode. Dette vil være et nyttig verktøy ved ombruk av lastbærende stålkonstruksjoner, men vil ikke bli videre behandlet her.

Stål som er utsatt for dynamiske laster/utmatning skal ikke ombrukes. Utmatting skyldes vekslende spenninger under materialets bruddfasthet. Utmattingen skyldes gjentatt plastisk deformasjon i mikroskala, som fører til sprekke dannelse. Sprekker opptrer først i overflaten og kan siden propagere innover i metallet (Kilvær mfl., 2019). Utmatting forekommer gjerne i bruer, tårn og kranbaner, mens bygg utsatt for vanlige vind, snø-

og brukslaster ikke vil være særlig utsatt. Dette er dermed lite relevant for materialene i bygningsmassen som vurderes i denne rapporten, men dette må alltid vurderes før ombruk.

Konstruksjonsstål er ofte overflatebehandlet for å endre farge, øke brannmotstand eller beskytte stålet mot miljøet. Maling brukt på stålkonstruksjoner kan være blymønje, kadmiumholdig maling, sinkprimer, epoksy, polyuretan, vinyltjære, steinkulltjære og klor-kautsjuk med fler (Widenoja mfl., 2018). Giftstoffer kan ofte finnes i slik overflatebehandling. Enkelte stoffer kan sandblåses og dermed fjernes fra materialet. Det finnes ingen krav i kjemikalielovgivningen til malte stålkomponenter som inneholder sink, PAH eller bisfanol A og blymønjealkyd som er nesten umulig å fjerne. Disse kan ombrukes som de er eller overmales med egnet maling. Kortkjedete klorparafiner er ikke tillatt å ombruke, og PCB og asbest er forbudt å omsette (Kilvær mfl., 2019).

### **Demontering, lagring, bearbeiding og remontering**

Skånsom demontering er en forutsetning for å kunne ombruke stålkomponenter. Skader påført materialet, sveiser, hull og overflate kan endre de grunnleggende egenskapene og føre til ekstra arbeider før ny montering (Widenoja mfl., 2018). Demontering og montering anbefales utført av stålmonterere med nødvendig utstyr og kompetanse. Mellomlagring av stålkomponenter bør gjennomføres lokalt for å unngå lange transportdistanser, og materialene må skjermes for skadelig miljø. En foreslått løsning i litteraturen er at stålgrøstister påtar seg rollen for mottak, redokumentasjon, lagring og salg. Dette vil gjøre det lettere for stålbyggere å kjøpe alt stålet sitt fra samme sted (Kilvær mfl., 2019). Bearbeiding av stålkomponenter bør gjennomføres i egnet verksted. Aktuelt arbeid er sveising, kapping, rustfjerning, hulltaking og overflatebehandling. Disse innebærer endring av “vesentlige egenskaper” og medfører krav om CE-merking (Kilvær mfl., 2019). Bearbeiding på byggeplass vil ikke føre til krav om CE-merking. Dette fører til at ombruk i nytt bygg på samme tomt er godt egnet for dagens regelverk.

### **2.8.3 Betong**

#### **Generelt**

Betong er det mest brukte byggematerialet i verden, og den nest mest brukte substansen etter vann (Merrild mfl., 2018). Betong er veldig bestandig, har høy trykkfasthet, lav produksjonskostnad og stor fleksibilitet når det kommet til form, farge, styrke og vekt. Materialet består av vann, sement, tilslag og tilsetninger. Vann og sement utgjør det som kalles sementpasta. Tilslag er en samlebetegnelse for sand, stein og pukk. Andre tilsetningsstoffer utgjør ofte en liten vektandel, men har stor innvirkning på betongens egenskaper (Sørnes mfl., 2014).

#### **Miljøbesparelser ved ombruk**

Betongproduksjon er et enormt klimaproblem. Det er antatt at betongproduksjon står for omkring 5-8 prosent av verdens CO<sub>2</sub> utslipp (Merrild mfl., 2018). Hovedsaklig forårsaket av produksjonen av bindemiddelet sement, som utgjør omtrent 90 prosent av utslippene (SINTEF, 2020). Siden bindemiddelet i betong er et irreversibelt hydratasjonsprodukt mellom sement og vann kan ikke dette knuses og brukes på nytt. Ved knusing av betong kan tilslaget, det vil si stein, pukk og grus, benyttes i ny betong. Dette sparer deponier

for store avfallsmengder, men har lite innvirkning på klimagassregnskapet. Naber (2012) poengterer at den miljømessige gevinsten ved ombruk av hulldekker i betong er stor da byggenes brukstid ofte er kortere enn de bærende betongkonstruksjonenes levetid, og at betongdekkenes masse, volum og vekt vil ha stor betydning for reduserte CO<sub>2</sub>-utslipp ved vellykket ombruk. I en masteroppgave fra NTNU knyttet til ombruksprosjektet Kristian Augusts gate 13, ble det beregnet at ombruk av hulldekker ga en utslippsbesparelse på 89 prosent sammenligning med nye hulldekker i prosjektet. 90 prosent av utslippene knyttet til ombruk er grunnet transport (Høydahl og Walter, 2020).

### **Hva egnes for ombruk?**

Utviklingen av betong på 1900-tallet skjedde gradvis med størst endringer etter 60-tallet. Utviklingen gikk mot bedre materialutnyttelse, mer kompliserte og spesialiserte betong-samensetninger, og mer effektive byggemetoder. Samtidig ble det innført superplastiserende stoffer for å redusere vannmengden i betong. Dette førte til at sementmengden og alkalieinnholdet i betongen gikk ned. Innføring av pozzolane tilsetningsstoffer kom først mot slutten på 80-tallet. Disse førte til mer miljøvennlig betong og bedre kontroll av tetthet og varmeutvikling (Mohammad, 2016). Utviklingen tilsier dermed at betong fra før 60-tallet kan forventes å være av lav kvalitet, men økende fram til i dag.

Betong brukes i hovedsak i det bærende systemet, enten som en plasstøpt konstruksjon eller sammensatt av prefabrikkerte elementer. Ombruk av betong kan dermed omfatte elementer, hele bygninger eller deler av bygningen. Dersom betongen ikke er eksponert for ytre påkjenninger som fukt, klorider, frysing og tining eller kjemisk angrep fra for eksempel forurenset grunnvann, vil nedbrytningen gå veldig langsomt. Betong inne i bygninger med lav relativ luftfuktighet vil oppnå laveste eksponeringsklassen i NS-EN 1992-1-1 (Standard Norge, 2008). Det vil si at det kan forventes lang levetid for slik betong.

Ved ombruk av hele bærekonstruksjonen i et bygg snakker vi ofte om totalrenovering, dette er høyst relevant for plasstøpte konstruksjoner da disse i liten grad kan demonteres. Bygninger med prefabrikkerte elementer kan i stor grad plukkes fra hverandre og ombrukes. En utfordring med ombruk av slike elementer er at disse vanligvis har ikke-reversible sammenføyninger som endeforankring, fugestøp og påstøp. En annen utfordring er at løftkroker i de fleste tilfeller skjæres bort etter montering. Dermed blir demontering og nedheising mer komplisert og mye ressurser går med til produksjon og kvalitetssikring av nye løftepunkter (Kilvær mfl., 2019). Andre aspekter som må vurderes er typisk om elementet kan demonteres uten å skades og eventuelt hvilke belastninger som påføres ved demontering. Konstruksjonens overordnede stabilitet må også vurderes dersom den plukkes fra hverandre. I tillegg må tilstanden på armeringen med tanke på korrosjonsskader vurderes. Belastninger i form av laster eller kjemiske påvirkninger i bruksfasen kan også ha betydning (Sørnes mfl., 2014).

### **Demontering, lagring, bearbeiding og remontering**

Plasstøpte bæresystemer kan ikke demonteres og monteres, men det kan være ønske om å endre bæresystemet eller lage gjennomføringer ved ombruk. Spesielt er dette nyttig for ventilasjon tekniske systemer og lignende. Ved endringer av bæresystemet må stabilitet og kapasitet av bygningselement og konstruksjonen som helhet vurderes.

Demontering av prefabrikkerte elementer kan gjøres ved systematisk tilnærming med klarering av endestykker, montering av løftekroker, eller hulltaking for stropping. Deretter kan elementene skråløftes slik at de knekkes fra hverandre før nedheising enkeltvis. Erfaringer fra rivemetoden viser til bruddbelastning og ujevne kanter (Kilvær mfl., 2019). Etter demontering må eventuell fugestøp fjernes og elementene kappes til ønskede størrelser. Nødvendige tester må gjennomføres for å dokumentere tilferdsstillende betongkvalitet før elementene transporteres til sitt nye vertsbbygg. Mellomlagring bør unngås hvis mulig da dette ofte øker transportdistansen og kostnaden knyttet til ombruk.

Ombruk av prefabrikkerte elementer er ikke hverdagskost i norsk byggebransje og krever dermed mye planlegging før utførelse. I ombruksprosjektet Kristian Augusts gate 13, i regi av Entra, ble det rapportert at ombruk av hulldekker fører til økte kostnader som følge av av demontering, testing av betongkvalitet, transport og bearbeiding, samt ekstra prosjektering (Nordby, Lunke mfl., 2021). Rapporten hevder at ombruk i fremtiden sannsynligvis vil gi et betydelig positivt utslag dersom det blir mer industrialisert.



## 3 Metode

### 3.1 Tilnærming til metode

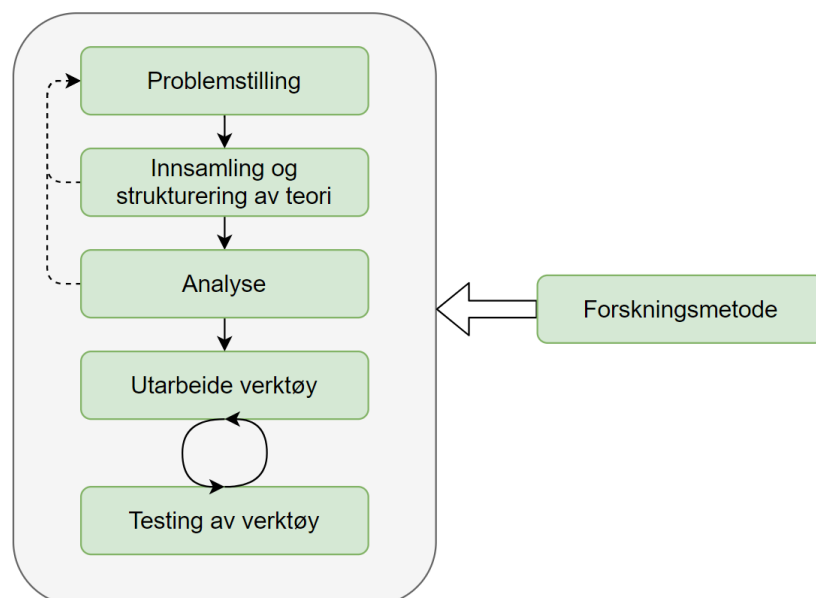
En metode er en bestemt tilnærming til problemløsning ved framskaffing og analyse av data. Metoden danner dermed grunnlaget for å løse oppgaven. Creswell (2014) skiller mellom tre tilnærminger til metode; kvantitativ, kvalitativ og en kombinasjon av disse. Denne oppgaven baserer seg på kvalitativ metode. Kvalitative metoder kjennetegnes ved analyse av tekstlig eller muntlig informasjon som siden må tolkes. Ved kvalitative metoder vil subjektiv tolkning ha stor innvirkning på resultatet og det kan være vanskelig å trekke konkrete slutninger. Typiske former for kvalitativ metode er litteraturstudie, intervju og observasjoner. Kvantitative metoder baserer seg på innhenting av målbar data. Metoden gir gjerne stor grad av presisjon og etterprøvbarehet. En kombinasjon av disse vil gi en mer komplett forståelse av situasjonen enn ved bruk hver for seg (Olsson, 2014).

Denne masteroppgaven bygger delvis videre på prosjektoppgaven *Kartlegging av ombrukspotensialet til byggematerialer og i byggebransjen generelt*. Oppgaven var et rent litteraturstudie for å avdekke sentrale aspekter ved ombruk og hvorvidt tema var interessant å undersøke nærmere. Oppgaven benyttet seg av en induktiv metode. Denne kjennetegnes av at forskeren nærmer seg empirien uten noen forventninger om hvordan verden ser ut. Forskeren skal altså ikke ta med seg hypoteser eller teorier, men samle teori som siden skal tolkes. Etter grundig analyse av teorien skal mer generelle teorier utvikles (Busch, 2013). Resultatene fra prosjektoppgaven danner grunnlaget for et videre litteratursøk i denne masteroppgaven. Masteroppgaven benytter seg dermed av en mer abduktiv tilnærming, som kjennetegnes ved at forskeren hele tiden beveger seg mellom teori og empiri. Det teoretiske grunnlaget justeres etter hvert som empirien samles og datainnsamlingen endres etter hvert som det utvikles nye teorier (Busch, 2013).

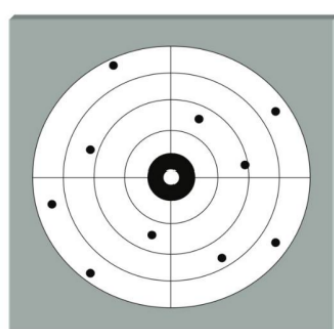
Hovedmålet med denne oppgaven er å identifisere hvor i byggebransjen potensialet for klimagassreduksjon er størst ved ombruk. Siden skal det utvikles et verktøy som kan bidra til å dra nytte av dette potensialet. For å besvare hovedmålet er innsamling og strukturering av teori, samt analysen av denne en iterativ prosess hvor problemstillingen stadig utfordres av nye funn. Verktøyet utarbeides med utgangspunkt i eksisterende teori og testes i to ulike caser. Ved å benytte mer enn én metode kalles det *metodetriangulering* (Dalland, 2017). Ved bevisst bruk kan ulike metoder utfylle hverandre. En visualisering av prosessen er vist i Figur 3.1.

#### 3.1.1 Reliabilitet og validitet

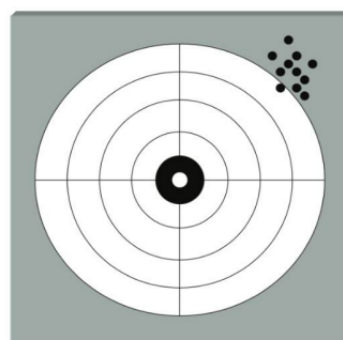
Da dette studiet er bygget opp som et rent kvalitativt studie, vil reliabiliteten være vanskelig å fastslå. Et studie streber mot å oppnå høy reliabilitet og validitet. Reliabilitet er et mål på etterprøvbareheten til resultatene. Hvis samme målinger utføres gjentatte ganger vil like resultat peke mot god reliabilitet. Det kan også sees på som et mål på om man måler på riktig måte. Validitet er et mål på relevansen og gyldigheten til resultatene. Høy validitet vil si at resultatene belyser kjernen i problemstillingen på en god måte (Olsson, 2014). Samset (2008) har framstilt konseptet som i Figur 3.2. Et kvalitativt studie gir stort handlingsrom og frihet, men innebærer mindre fokus og presisjon. Slike studier er gunstig for å etablere oversikt over tema. Validitet og reliabilitet må dermed veies opp mot hverandre.



Figur 3.1: Stegvis framgangsmetode i arbeidet med oppgaven. Inspirert av Busch (2013)



(a) God validitet, lav reliabilitet



(b) Lav validitet, god reliabilitet

Figur 3.2: Validitet og reliabilitet (Samset, 2008)

## 3.2 Litteraturstudie

Et litteraturstudium sørger for hurtig kartlegging av generell informasjon, nøkkelkonsepter og beviser innenfor et forskningsfelt og hvilken informasjon som er tilgjengelig. For komplekse fagfelt som ikke er grundig gjennomgått i litteraturen kan slike studier fungere som frittstående prosjekter (Arksey og O'Malley, 2003). For å utvikle en relevant problemstilling ble det søkt grundig gjennom eksisterende litteratur om *ombruk* i byggebransjen. Motivasjonen var å identifisere hvor byggebransjen har størst potensial for klimagassreduksjoner ved ombruk i dag. Litteratursøket skulle altså avdekke hull i eksisterende litteratur ved å analysere denne, og siden utarbeide en konklusjon. Arksey og O'Malley (2003) peker på dette som én av fire grunner for å utføre slike studier.

Det ble avdekket en rekke rapporter om ombruk av spesifikke materialer og de barrierer som har eksistert for ombruk fra tidlig 2000-tallet til i dag. Ombrukslitteraturen er publisert jevnlig fra 2004 til i dag. Litteraturen viser liten utvikling fra da til nå, så alle rapportene regnes som gyldige også i dag. I nyere tid er det publisert rapporter som do-

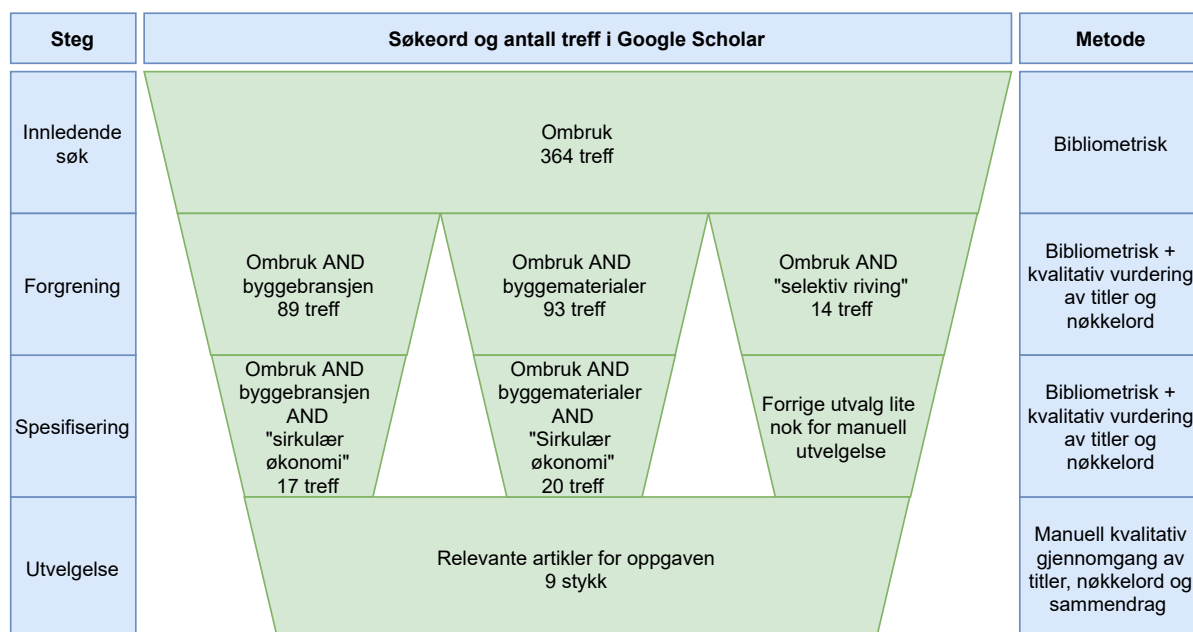


kumenterer utførte forbildeprosjekter for ombruk. Her finnes blant annet kvantitativ data om klimagassreduksjoner ved ombruk av viktige materialer sett i et levetidsperspektiv.

### 3.2.1 Systematisk søk

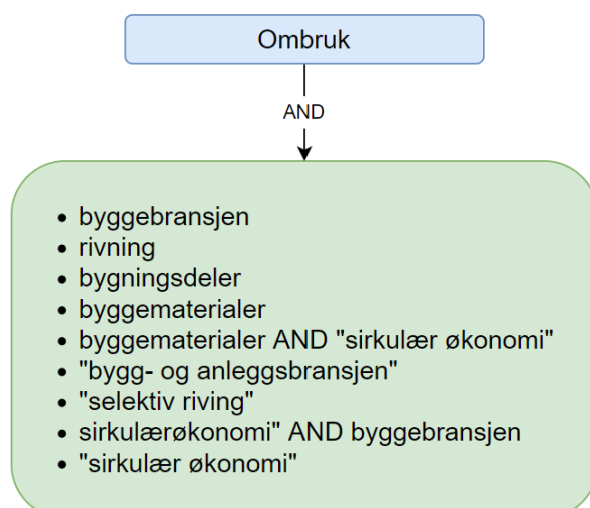
Systematisk søk på relevante søkeord og deres synonymer ble utført ved bruk av søkemotorene Google Scholar, Oria og NTNU Open. Science Direct ble i tillegg benyttet ved søk på engelsk. Begge språk ble brukt for å innhente et bredt spekter av kilder. Norske søkeord ble ilagt mest fokus ved kartlegging av ombruk, da det viste seg at tema var godt dekket av norsk litteratur. I tillegg ble norsk litteratur ansett som mer relevant på bakgrunn av en rekke særegenheter i norsk byggebransje. Engelskspråklige artikler publisert av organisasjoner som IPCC, IRP og FN-sambandet er derimot ilagt stor vekt ved studiet av globale fenomen som global oppvarming og ressursbruk.

I innledende søk ble det benyttet bibliometrisk metode med sortering etter relevans. Siden ble søket presisert ved bibliometrisk og kvalitativ vurdering av titler og nøkkelord. Slik ble et stort antall treff redusert til et håndterlig antall for manuell utvelgelse. Figur 3.3 illustrerer prosedyren. I Tabell A.1 er komplett statistikk for databasesøket presentert. Det ble ikke benyttet begrensninger for publiseringstidspunkt da det, som nevnt, har vært tilnærmet stillestående utvikling innenfor tema.



Figur 3.3: Eksempel på søkeprosedyre hvor et stort antall treff snevres ned til et håndterlig antall artikler. Inspirert av Andenæs mfl. (2018)

Artikler med relevans ble systematisk katalogisert for å få oversikt over tilgjengelig litteratur. Den mest relevante litteraturen for oppgaven er funnet ved bruk av søkeordet *ombruk* kombinert med andre relevante søkeord, som vist i Figur 3.4. Ombruk er ikke et hyppig benyttet begrep i bransjen, men har dukket opp i litteraturen med jevne mellomrom fra omkring år 2000 til i dag. Begrepet er i stor grad benyttet i artikler som belyser tema relevant for denne rapporten. Dette ga stor presisjon og høy grad av relevans i resultatene. Det beslektede ordet *gjenbruk* er i større grad benyttet i bransjen men benyttes i flere ulike sammenhenger og ga dermed en stor spredning i relevans ved søk.



Figur 3.4: Ombruk kombinert med andre relevante søkeord ga god presisjon i søket

### 3.2.2 Snøball-metoden

For de mest relevante kildene ble snøball-metoden benyttet. Kildens bibliografi ble gjennomgått. Metoden avdekket at mye litteratur henviser til de samme rapportene, utgitt av anerkjente aktører. Mange av disse rapportene ligger også til grunn for denne rapporten. Bruk av metoden kan føre til et skjevt utvalg av artikler, og en skal dermed være oppmerksom på dette. I tillegg er det vanskelig å reprodusere slike søk og å vite når en skal stoppe oppnøstingen av tråder.

### 3.2.3 Evaluering av litteratur

Vurdering av litteraturen er gjort etter T-O-N-E-prinsippet. Det vil si at kilder er vurdert etter troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egnethet som presisert i Tabell 3.1 (Breivik, 2017). Artikler publisert av anerkjente organisasjoner ble sterkt foretrukket.

### 3.2.4 Eksisterende litteratur om ombruk av byggematerialer

Litteratur identifisert som særlig relevant for dette studiet er publisert etter tusenårsskiftet. Tema har fått økende oppmerksomhet de siste årene, noe som kan sees i grafene over søketrender vist i Avsnitt A.2. På grunn av mangel på sorteringsmuligheter i *Google Trends* er søketrendsgrafene generelle og ikke direkte overførbare til byggebransjen. Grafene kan til tross for dette sees på som en generell trend i samfunnet.

### 3.2.5 Reliabilitet og validitet

Validiteten til innhentet litteratur er kontinuerlig vurdert ved å benytte T-O-N-E-prinsippet. Spesielt publiseringskanal og forfatters institusjonstilknytning har vært tungt vektet for å vurdere troverdighet. Da brorparten av litteraturen er publisert av anerkjente aktører nasjonalt og internasjonalt kan det antas at litteraturen er troverdig. Relevans for problemstillingen ble også kritisk vurdert løpende for å unngå opphopning av overflødig materiale. Reliabiliteten er ivaretatt ved å stort sett benytte litteratur som er tilgjengelig for alle.

Tabell 3.1: T-O-N-E-prinsippet

<b>Troverdighet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hvem er ansvarlig for artikkelen?</li> <li>- Hva er forfatterens utdanning og instutisjonstilknytning?</li> <li>- Er det oppgitt kontaktinformasjon?</li> <li>- Hvilket tidsskrift er den publisert i?</li> <li>- Er den fagfellevurdert?</li> </ul>
<b>Objektivitet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hvordan er dataene presentert?</li> <li>- Samsvar med tidligere forskning?</li> <li>- Prøver den å overbevise eller informere?</li> <li>- Er flere sider av saken belyst?</li> </ul>
<b>Nøyaktighet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Er forskningsmetoden godt forklart?</li> <li>- Hvor nye er dataene?</li> <li>- Kan det bekreftes av andre?</li> </ul>
<b>Egnethet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Passer publikasjonen problemstillingen?</li> <li>- Kaster den nytt lys over problemstillingen?</li> <li>- Hvem er den skrevet for?</li> </ul>

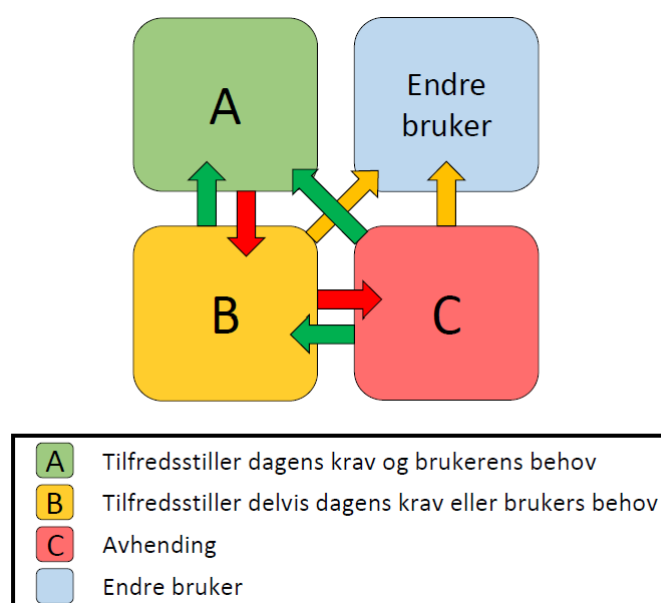
### 3.3 Verktøy for vurdering av bæresystemers ombrukspotensiale

#### 3.3.1 Bakgrunn og formål

Som resultat av funn gjort i litteraturstudiet, er det utarbeidet et beslutningstre som hjelpeverktøy for vurdering av bevaring eller riving av bæresystemer. Beslutningstreet er spisset mot vurdering av kontorbygg. Særlig kontorbygg med plasstøpt bæresystem i armert betong. Disse byggene kan ikke demonteres og ombrukes annensteds og lokalt ombruk er dermed beste løsning. Analyse av litteraturen peker mot bevaring av bæresystem som et høyst effektivt anvendelsesområde for ombruk. Følgende funn peker mot økt fokus på denne typen lokalt ombruk:

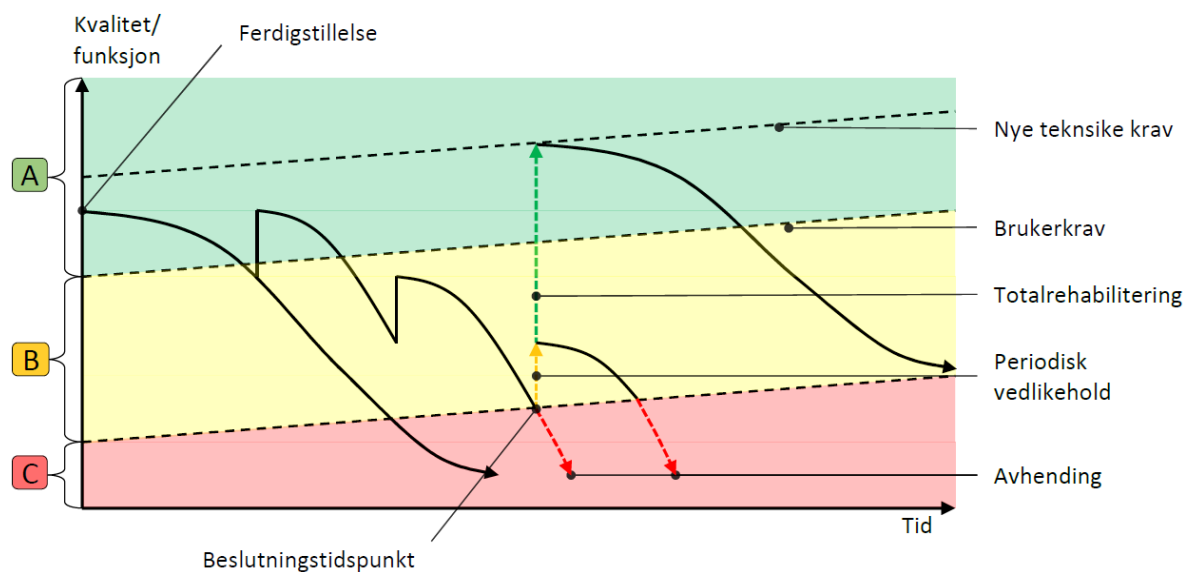
- Ombruk fører til små reduksjoner i klimagassutslipp på nasjonal basis, men kan føre til store besparelser for det enkelte prosjekt (Nordby, 2018).
- Dagens lover og regler fører til at omsetning av ombruksmaterialer er vanskelig og at ombruk dermed bør skje lokalt i samme prosjekt med samme eiere (Kilvær mfl., 2019).
- Bæresystemet har lang levetid (Merrild mfl., 2018) og kan ombrukes uten å havne innunder regler for omsetning i markedet (Kilvær mfl., 2019).
- Ved ombruk av bæresystem kan en regne med store klimagassreduksjoner (Nordby, Lunke mfl., 2021).
- Endringsdyktighet står sentralt ved vurdering av bevaring av kontorbygningers bæresystem (Arge, 2003).

Verktøyets formål er å vurdere hvorvidt et bæresystem bør bevares eller ikke. Slike vurderinger utføres dersom et bygg i lav grad tilfredsstillende dagens krav og/eller brukerens krav. For å lettere tydeliggjøre en bygnings tilstand er det i denne rapporten benyttet tre stadier, *A*, *B* og *C*. Stadiene er presentert som en konseptuell fremstilling i Figur 3.5. Stadium *A* tilfredsstillende dagens krav og brukerens behov, mens stadium *B* kun delvis tilfredsstillende dagens krav eller brukerens behov. Laveste stadiet er *C*, avhendingsstadiet. Den blå boksen viser til muligheten til å endre bruker. Dette er aktuelt da ulike brukere har svært ulike krav til bygningen de oppholder seg i. De røde pilene i figuren viser til den naturlige, gradvise degraderingen av bygget, mens de grønne er rehabiliteringer av ulik grad. De gule pilene viser til at byggets standard kan holdes uendret, men likevel oppfylle en annen brukers krav. Verktøyet utviklet til denne rapporten er tenkt anvendt for bygg som befinner seg i stadium *B* og *C*, hvor byggeier vurderer å rive for å bygge nytt eller bevare bygget ved å rehabilitere.



Figur 3.5: Konseptuell fremstilling av en bygnings tilstand og de naturlige opp- eller degraderingsbanene

I Figur 3.6 er en konstruksjons kvalitet og funksjon sett i et levetidsperspektiv illustrert med de tre stadiene *A*, *B* og *C*. Av figuren kan en se hvordan tekniske krav og brukers krav øker med tiden. Samtidig reduseres også terskelen for å avhende bygget. De sorte pilbanene illustrerer typisk endring i kvalitet og funksjon over tid. Punktet merket "Beslutningspunkt" er et kritisk punkt hvor byggeier må beslutte om bygningen skal gå mot levetidslutt, altså inn i stadium *C*, eller oppgraderes. Ved periodisk vedlikehold kan en forlenge levetiden til bygget ved å holde det i stadium *B*. En totalrehabilitering vil oppgradere bygget til å møte dagens krav, altså til stadium *A*. Beslutningen om å gå fra *B* til *C* eller *A*, er avhengig av en rekke faktorer, men særlig endringsdyktighet. De viktigste faktorene for å vurdere en bygnings egnethet for bevaring er inkludert i beslutningstreet i påfølgende underkapittel.

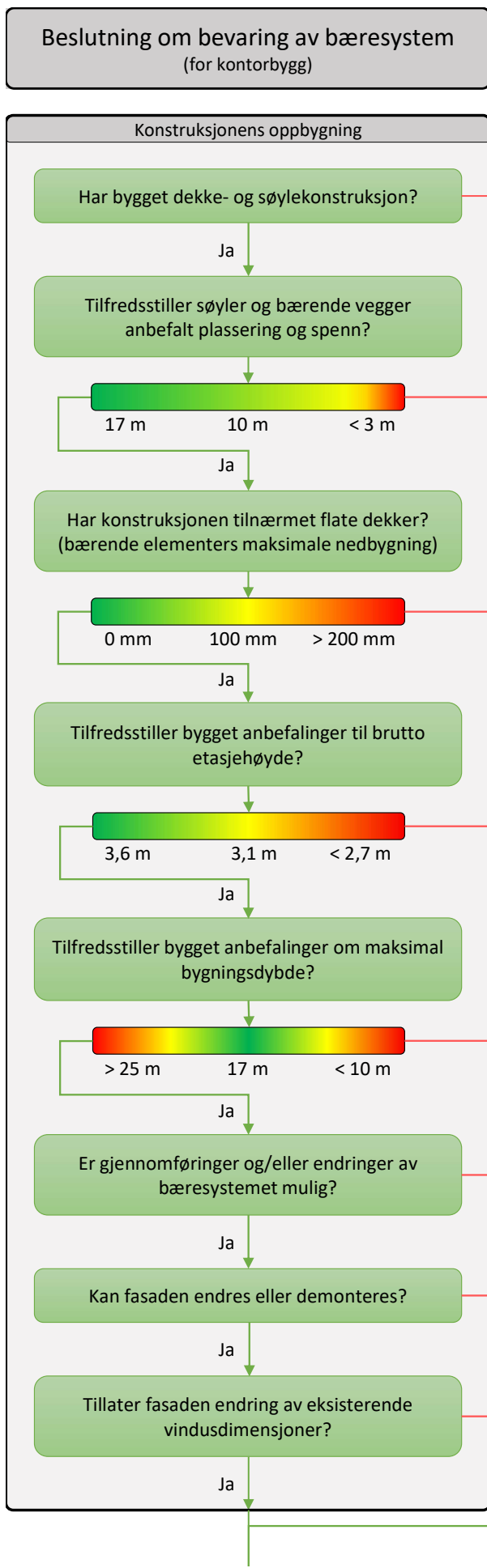


Figur 3.6: En konstruksjons kvalitet og funksjon sett i et levetidsperspektiv. Ved beslutningstidspunktet må en vurdere alternativene avhending, periodisk vedlikehold eller totalrehabilitering. Produsert etter SINTEF Byggforsk (2017)

### 3.3.2 Beslutningstreet

Beslutningstreet er bygget opp av 15 spørsmål som i ulik grad er kritisk for en konstruksjons egnethet til bevaring. Ved vurdering med bruk av beslutningstreet er målet å oppnå flest mulig *Ja* og færrest *Nei*. Hvilke faktorer som er mest kritisk vil variere fra bygg til bygg. Dette avhenger av planlagt bruksområde etter renovering, byggeiers investeringsvillighet og villighet til innovasjon. Det vil si at visse bygg bevares på tross av flere *Nei*, mens andre bygg kan bli revet utelukkende på bakgrunn av ett enkelt krav som ikke er tilfredsstillt. For flere av spørsmålene finnes det en skala som sier noe om litteraturens syn på potensiale for bevaring ved ulike verdier. For eksempel er brutto etasjehøyde en gradert skala. Optimalt sett bør denne være 3,6 meter, men det finnes også vellykkede eksempler hvor bygg med brutto etasjehøyde på omkring 2,8 meter er bevart ved iverksettelse av spesielle tiltak.

I de tilfeller hvor bygget ikke imøtekommer et krav vil byggeier måtte vurdere diverse alternativ. Alternativene er fargekodet. Grønn boks vil si at byggeier godtar eventuell ulempe ved bevaring. Gul boks tilsier at byggeier må iverksette tiltak for å oppnå ønsket funksjonalitet, kapasitet eller miljøprofil. Blå boks, som er brukerbytte, er kun et alternativ ved ikke tilfredsstillt funksjonelt krav. En må da vurdere hvilke andre bruksområder konstruksjonen kan passe til. Hvis byggeier ikke er villig til å velge noen av alternativene vil det være naturlig å avhende bygget. Beslutningstreet er først vist i sin helhet i Figur 3.7 og Figur 3.8, før hvert enkelt spørsmål er videre forklart i Avsnitt 3.3.3.



Alternativ

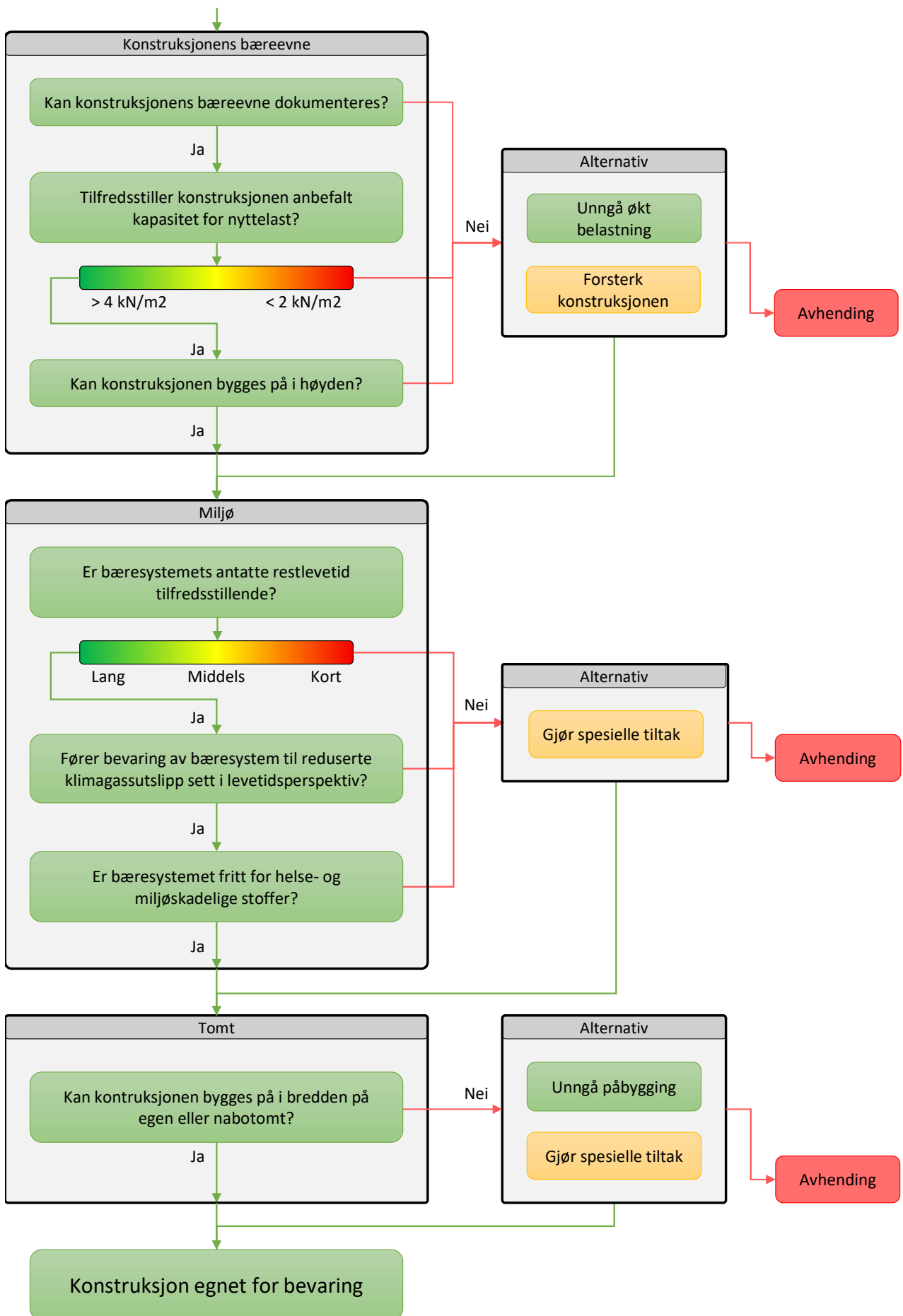
God arkitektur  
kompenserer for  
ikke tilfredsstilt  
funksjonelt krav

Gjør spesielle tiltak

Endre bruk

Avhending

Figur 3.7: Beslutningstre (del 1)



Figur 3.8: Beslutningstre (del 2)

### 3.3.3 Forklaring til beslutningstreet

Bakgrunnen og formålet med hvert enkelt spørsmål forklares i påfølgende liste.

#### Konstruksjonens oppbygging

1. Har bygget dekke- og søylekonstruksjon?
  - Ideelt sett bør det ikke være søyler eller bærende vegger i kontorlokalet da disse vil redusere den funksjonelle og fysiske fleksibiliteten (Arge og Landstad, 2002). Skivekonstruksjoner vil spesielt ha redusert fleksibilitet dersom det finnes innvendige tverrgående bærende vegger. Bærende yttervegger vil gi utfordringer med gjennomføringer til ekstra vindusareal, noe som gjerne er svært viktig ved oppgradering av eldre bygg.
2. Tilfredsstiller søyler og bærende vegger anbefalt plassering og spenn?
  - Store spennvidder er ønskelig, men løsninger med kortere spenn og én søylerekke er ofte mer optimalt på grunn av reduksjon av dekketykkelse (SINTEF Byggforsk, 2004a). Senteravstand på 5-8 meter vil ivareta fleksibiliteten i bygget (Arge og Landstad, 2002).
3. Har konstruksjonen tilnærmet flate dekker? (bærende elementers maksimale nedbygning)
  - Flate dekker letter føring av tekniske systemer. Fleksibiliteten reduseres ved nedstikkende bærende konstruksjonselementer.
4. Tilfredsstiller bygget anbefalinger til brutto etasjehøyde?
  - Brutto etasjehøyde på 3,6 meter gir vanligvis tilstrekkelig plass til tekniske installasjoner samtidig som en oppnår anbefalt netto himlingshøyde på 2,7 meter (Arge og Landstad, 2002; Arbeidstilsynet, 2021). Minste anbefalte etasjehøyde er 3,1 meter i følge Arge og Landstad (2002). For lavere etasjehøyder må det vurderes alternative løsninger for tekniske føringer og nedfelt himling.
5. Tilfredsstiller bygget anbefalinger om maksimal bygningsdybde?
  - Bygningsdybde på 15-17 meter er optimalt med tanke på tilgang på dagslys (SINTEF Byggforsk, 2004a). For større bredder vil arealer uten tilfredsstillende tilgang på dagslys kunnes benyttes til støttefunksjoner som gang, møterom og korttidsarbeidsplasser (Arge og Landstad, 2002). Mindre dybder vil øke varmetap, redusere arealeffektivitet og innredningsmuligheter.
6. Er gjennomføringer og/eller endringer av bæresystemet mulig?
  - Ved ombygging kan gjennomføringer til nye tekniske systemer, heiser eller lignende være viktig for å oppnå ønsket løsning.
7. Kan fasaden endres eller demonteres?
  - Eldre fasader er ofte lite verdsett, og endring av disse står sentralt hvis en skal fornye profilen til et bygg. Estetikk vil ha stor innvirkning på brukernes trivsel, besøkendes oppfatning av bedriften og på potensielle leietakeres, eller kjøperes syn på bygningen (Arge og Landstad, 2002). Ved store ombyggingsprosjekter vil også økning av isolasjonstykkelse være viktig for å møte dagens standard.



8. Tillater fasaden endring av eksisterende vindusdimensjoner?
- Eldre bygg bærer preg av vinduers lave isolasjonsevne ved oppføring og en dårlig forståelse for viktigheten av dagslystilgang. De har dermed ofte mindre vindusareal enn dagens. Å kunne endre disse dimensjonene er viktig.

#### Bæreevne

9. Kan konstruksjonens bæreevne dokumenteres?
- Dokumentasjon fra oppføring eller styrketester utført på bæresystemet vil være nyttig ved bevaring av bæresystem. Kvaliteten på konstruksjonsstål og armert betong kan dokumenteres ved hjelp av ikke-destruktive metoder i kombinasjon med destruktiv testing av enkeltelementer eller kjerneprøver for armert betong. Uvissheter omkring betong- og stålkvalitet, samt mengde armering er vanlig for eldre bygg da dokumentasjon ofte er mangelfull og utførelsen av uviss kvalitet.
10. Tilfredsstiller konstruksjonen anbefalt kapasitet for nyttelast?
- Hvis det kan dokumenteres at konstruksjonen tåler økt belastning vil fleksibiliteten og elastisiteten øke. Eurokode 1 (NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2019) krever 2 til 3 kN/m<sup>2</sup> kapasitet for dekker i kontorbygg. Kapasitet på 4 kN/m<sup>2</sup> vil tillate bruksendring til forretningsarealer og visse typer forsamlingslokaler (Standard Norge, 2019).
11. Kan konstruksjonen bygges på i høyden?
- Hvis søyler og dekker er dimensjonert for økt belastning kan det bygges på i høyden dersom gjeldende reguleringsplan tillater det. Overdimensjonerte søyler gir god elastisitet. Å bygge på ved bruk av lettere materialer, som treverk, kan være aktuelt.

#### Miljø

12. Er bæresystemets antatte restlevetid tilfredsstillende?
- Bevaring er ønskelig i de tilfeller hvor bæresystemets restlevetid bidrar til reduserte klimagassutslipp i løpet av levetiden til bygget. I dag settes ofte 50-60 år som planlagt levetid. Bæresystemer i armert betong og stål, som er godt skjermet, har lang levetid og kan ofte overleve flere slike livsløp. Ombruk av bæresystemer med kort restlevetid bør unngås da dette kan føre til økte klimagassutslipp, på grunn av store ressursinvesteringer, fordelt på få leveår.
13. Fører bevaring av bæresystem til reduserte klimagassutslipp sett i et levetidsperspektiv?
- I visse tilfeller kan bæresystemets natur føre til behov for forsterkninger, utbedringer og endringer. Disse kan være ressurs- og energikrevende og kan føre til redusert klimagevinst ved ombruk. Det bør derfor gjøres klimagassberegninger for det planlagte bygget med eksisterende bærekonstruksjon opp mot et tenkt referansebygg, for å beregne faktiske reduksjoner i klimagassutslipp på grunn av redusert materialbruk. Eksisterende bæresystem kan også gå på bekostning av løsninger for oppnåelse av energieffektive bygg. Eksempelvis vil dårlige ventilasjons- og varmeløsninger, samt dårlig plassering og orientering på tomt i forhold til sol, kunne påvirke energiregnskapet. Energiberegninger

for planlagt bygg med eksisterende bærekonstruksjon bør sammenlignes med et referansebygg med tiltekt energieffektivitet.

14. Er bæresystemet fritt for helse- og miljøskadelige stoffer?
- Overflatebehandlinger, avrettingsmasse, gulvbelegg, fugemasser og lignende kan inneholde miljø- eller helseskadelige stoffer. Prøvetaking av materialer og overflatebehandlinger bør tas før det tas en beslutning om bevaring av bæresystem. Ved lokalt ombruk stilles ikke samme krav til fravær av miljø- og helseskadelige stoffer som ved omsetning. Avhengig av hvilket stoff det er snakk om kan materialet sandblåses, overmales med egnet maling eller ombrukes som det er (Widenoja mfl., 2018).

#### **Tomt**

15. Kan konstruksjonen bygges på i bredden på egen eller nabotomt?
- Utvidelse i bredden gir god elastisitet, og kan være viktig for bedrifter i vekst eller for utbyggere som ønsker økt utnyttelse av tomt. Særlig i sentrumsnære strøk vil økt utnyttelse av tomt gjerne ha store økonomiske og miljømessige fordeler. I disse områdene er leieprisene høye og nærhet til kollektivtransport fører til reduserte klimagassutslipp knyttet til transport. Eldre bygg som ikke er kompatible med ønsket utvidelse vil ha lavere potensiale for bevaring.

## **3.4 Casestudier**

Casestudier er benyttet for å teste og utvikle verktøyet for vurdering av bæresystemers ombrukspotensiale, presentert i Avsnitt 3.3. I casestudier er det et fenomen som skal studeres, og dette er sterkt knyttet til konteksten. Det er vanskelig å forstå fenomenet uten å kjenne konteksten. Det viktigste kriteriet er dermed at disse må forstås sammen (Busch, 2013). To ulike kontorbygg skal benyttes i casestudiet. Det ene er MAX-bygget på Tempe i Trondheim som ble totalrehabilitert i 2020. Det andre er Siemensblokken ved Sorgenfri, også i Trondheim, som ble revet samme år. Innhenting av informasjon for de to byggene har foregått ved direkte kontakt med Veidekke for MAX-bygget og Siemens for Siemensblokken. Solibrimodeller ligger til grunn for uthenting av mål, mengder og andre detaljer knyttet til bygningskroppene. Bilder fra befaringer utført henholdsvis før totalrehabilitering og riving er benyttet for å kontrollere modellene. For annen informasjon er det benyttet avisartikler og interne rapporter.

Fysisk befaring av undertegnede er ikke utført for Siemensblokken da dette ble revet før oppgaven ble påbegynt. Befaring av MAX-bygget er kun utført utvendig og i utvalgte innvendige lokaler. Dette er grunnet utfordringer knyttet til den pågående Covid-19 pandemien og pågående arbeid i deler av bygget våren 2021. Manglende fysisk befaring er en klar ulempe med tanke på korrekt vurdering av byggene. Dette er likevel vurdert som en akseptabel feilkilde da fokus har vært å utvikle vurderingsverktøyet, og ikke underbygge eller utfordre de valg som er tatt med tanke på renovering eller avhending av nevnte bygg.

### 3.5 Evaluering av metoden

Metoden brukt i denne oppgaven er i hovedsak litteraturstudie og casestudie. En omfattende, systematisk teorigjennomgang var nødvendig for å avdekke hvilket satsingsområde for ombruk som i dag ikke er dekket av litteraturen, og som ville ha nevneverdig uttelling på klimagassutslippene i bransjen. Et nytt litteraturstudie måtte siden utføres for å undersøke hva som fører til ønske om ombruk av kontorbygningers bæresystem. Artikler fra anerkjente aktører er tungt vektet for å ivareta validiteten i oppgaven, mens reliabiliteten er opprettholdt ved å i størst mulig grad benytte litteratur som er tilgjengelig for alle. For kvalitative metoder som dette vil subjektiv tolkning ha stor innvirkning på resultatet, og det kan være vanskelig å dra konkrete slutninger. Kvantitative metoder kunne med fordel vært benyttet for å bekrefte funn fra litteratursøket.

Resultatene fra casestudiet har vært viktig for utvikling av vurderingsverktøyet. Prosessen har krevd innsikt i mange interne dokumenter fra aktører knyttet til prosjektene. Kun de mest sentrale aspektene ved casebyggene er gjengitt i denne oppgaven da det ble ansett som lite hensiktsmessig å inkludere for mye detaljert informasjon. Det kan dermed være vanskelig å etterprøve verktøyets utviklingsprosess. Som helhet har oppgaven den svakhet at den er svært teoretisk og ensidig. Teoretisk fordi den kun baserer seg på litteraturstudium, og ensidig fordi den ikke har inkludert aktører fra bransjen i valg av satsingsområde og utvikling av verktøyet. Utenom nevnt kritikk har valgt metode vært hensiktsmessig for oppgaven og ledet til et satsingsområde for ombruk med stort potensiale. I tillegg er det utviklet et sett vurderingskriterier som har som mål å utnytte dette potensiale.



## 4 Presentasjon av casebyggene

I dette kapittelet presenteres de valgte casebyggene. Aspekter som er sentrale for vurdering av bygningens potensiale for bevaring beskrives i detalj, herunder tomt, arkitektur, konstruksjon og miljø.

### 4.1 MAX-bygget

MAX-bygget er et kontorbygg på Tempe i Trondheim, oppført i 1987. Bygget huser butikklokaler i første etasje, leiligheter i toppen og diverse kontorer i etasjene imellom. Totalt er det 8 etasjer over bakken, parkering i kjeller og parkeringsdekk i 2. etasje over butikklokalene. Selve kontor- og næringsdelen er henholdsvis omkring 5000 m<sup>2</sup> og 2100 m<sup>2</sup>. Boligene i toppetasjen opptar omtrent 760 m<sup>2</sup>. I tillegg kommer parkeringsarealer med lager, ramper og diverse tekniske rom totalt på omtrent 4000 m<sup>2</sup>. I 2017 ble det utlyst pris- og designkonkurranse for rehabilitering av den da 30 år gamle blokken. Bygget ble totalrenovert med fokus på ombruk og energieffektive løsninger. Bæresystemet ble tatt vare på og førte til reduserte avfallsmengder og mindre behov for nye bygningsmaterialer. I dag oppfyller lokalene på plan 3-7, samt halve plan 2, passivhusstandard. Prosjektet oppnådde høyeste graden av BREEAM, altså BREEAM Outstanding. Bygget med dets originale fasade kan sees i Figur 4.1.



Figur 4.1: MAX-bygget før totalrenovering. Hentet fra Syltern (2019)

#### 4.1.1 Tomt

Bygget er plassert som en “trafikkøy” mellom to viktige trafikkarer. Bygget har i alle år stått som et monument langs Holtermannsveien, som er en av hovedveiene inn mot Trondheim sentrum. Tomten er smal og lang, med kortsiden vendt nesten rett sør. I nord er nærmeste nabo en bensinstasjon som opptar siste delen av “øyen”. Tomten er utnyttet til det fulle i bredden, men av den nesten 3000 m<sup>2</sup> store tomten er avtrykket til selve blokken kun i underkant av 800 m<sup>2</sup>. Dette kan sees i Figur 4.2 som viser tomten markert i blått.



Figur 4.2: Tomt med eksisterende bygg. Hentet fra [geoinnsyn.nois.no](http://geoinnsyn.nois.no)

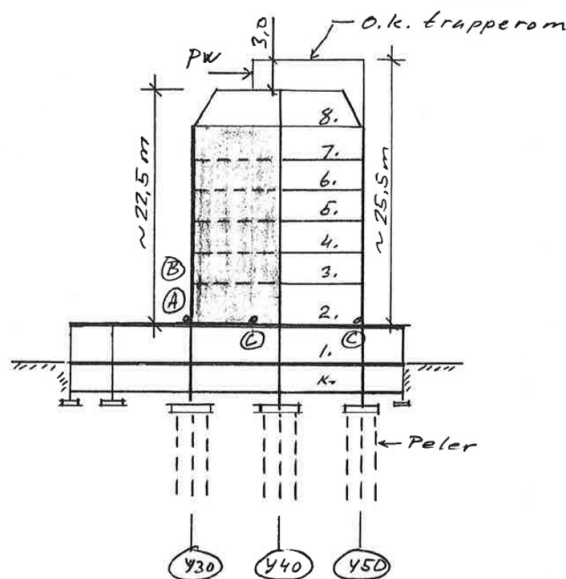
### 4.1.2 Arkitektur

MAX-bygget er satt sammen av en hovedblokk, et stort rektangulært trappeløp i sør, og et mindre, sirkulært trappeløp i nord. Det hele hviler på en lav betongplattning. Sammensetningen av trappeløp og blokk, samt fargevalget på fasadeplatene, er typisk for postmodernismen. Vindusbåndene kan være inspirert av funksjonalismen. Før totalrenovasjonen ble bygget av flere omtalt som “byens styggeste” (Sellæg, 2019). Arkitekturen i seg selv var dermed ingen pådriver for å bevare fasaden. I tillegg var vinduene få og lave. Høyere vinduer er typisk ønskelig i dag for tilfredsstillende dagslystilgang.

### 4.1.3 Konstruksjon

Bygningen er oppført med plasstøpte betongkonstruksjoner. Etasjeskillere er utført med etterspente, flate betongdekker, opplagret på søyler og vegger av betong. Takkonstruksjonen er oppført med stålkonstruksjoner og stålplattetak. Trappesjakt mot sør og betongvegg i gavl, mot nord danner avstivningssystemet. Avstivningssystemet veksles ut i nivå 2, og lastene spres ut i en stivere grunnkonstruksjon. Bygningen er fundamentert med friksjonspeler (betongpeler) og direkte fundamentering. Grunnen består av 10-15 middels til fast leire over meget fast leire. Original skisse av bæresystemet er vist i Figur 4.3.

Det finnes lite dokumentasjon på tidligere endringer og oppgraderinger av bygget, men det har vist seg mulig å gjøre endringer i bæresystemet. Blokken er 17 meter dyp og 45,5 meter bred, med et grid av søyler med avstand mellom seg på omtrent 7 meter. Byggets etasjehøyde er lav, omtrent 2,8 meter, og antall vinduer i kontoretasjene var få. Ytterveggene bestod av standard ikke-bærende bindingsverk med mineralullisolasjon og fasadeplater i stål.



Figur 4.3: Original skisse av oppbyggingen av MAX-byggets bæresystem fra Byggkonsults konstruksjonsberegninger, datert 1986

Dekkene har mye armeringsjern, men lavere bæreevne enn ønsket. Originale beregninger utført av Byggkonsult i 1986 viser en prosjektert nyttelast på  $2 \text{ kN/m}^2$  og bruddlast på  $3,2 \text{ kN/m}^2$  for dekkene 2-7. I forbindelse med totalrenoveringen av bygget er det lagt til grunn  $2 \text{ kN/m}^2$  før det ble lagt påstøp på dekkene, og tekniske installasjoner under. Påstøpen er beregnet å tilsvare en last på  $0,5 \text{ kN/m}^2$  og tekniske installasjoner tilsvare  $0,2 \text{ kN/m}^2$ , noe som reduserer kapasiteten for nyttelast ytterligere. Dekkene for næringsdelen har kapasitet til nyttelaster tilsvarende  $5 \text{ kN/m}^2$ , boligene i 8. etasje har  $1,5 \text{ kN/m}^2$  og parkeringsdekket over 1. etasje har  $4,5 \text{ kN/m}^2$ . Manglende bæreevne i parkeringsdekke har ført til skrinlegging av planer om å utvide bygget ved å bygge på i høyden. Det er i denne oppgaven ikke vurdert hvorvidt bærende søyler har tilstrekkelig kapasitet til påbygg i høyden. Det antas at søyler ikke vil tåle en påbygning da det ikke var prosjektert for dette i utgangspunktet. En samling av kritiske faktorer ved vurdering av bevaring av bæresystem er listet i Tabell 4.1.

Tabell 4.1: Oversikt over kritiske faktorer knyttet til konstruksjonen og deres verdier for MAX-bygget

Kritiske faktorer	Verdi
Spenn mellom søyler i dybderetning	$7,5 + 7,5 + 7,5 \text{ m}$
Spenn mellom søyler i lengderetning	$7,0 \text{ m}$
Maksimal nedbygning bærende elementer	$0 \text{ mm}$
Etasjehøyde i kontorareal	$2,8 \text{ m}$
Dybde	$17,0 \text{ m}$
Bredde	$45,5 \text{ m}$
Dekketykkelse	$200 \text{ mm}$
Lastkapasitet	$2,0 \text{ kN/m}^2$
Antatt restlevetid	Lang
Antall etasjer	8

### 4.1.4 Miljø

Det er foretatt miljøkartlegging av bygget ved hjelp av mindre inngrep i bygningsmassen for prøvetaking og undersøkelse av forekomster av helse- og miljøskadelige stoffer. Inngrepene ble utført ved hjelp av håndverktøy som kniver, hammer, meisel, brekkjern, skrujern og liknende. Kartleggingen ble utført av Veidekke Entreprenør AS i 2018. Konklusjonen fra rapporten lyder som følger:

“Det har blitt registrert forekomster av helse- og miljøfarlige stoffer i bygningsmassen som skal rives. De viktigste er gulvbelegg og vaskelister, isolerglassvinduer, kjøleromsvegger og kjølemedier tilknyttet kjølemaskiner. I tillegg er noen av de kartlagte tunge rivemassene forurenset.”

Tyngre rivemasser er betong, tegl, klinker og andre tunge bygningsmaterialer samt overflatebehandling og andre produkter som er benyttet på disse materialene. Konstruksjonene som var planlagt revet ble kartlagt for å avgjøre hvordan avfallet skulle behandles. Flere av de kartlagte bygningsdelene inneholdt tungmetaller over normverdi, men under grensen for farlig avfall. Dermed måtte disse håndteres som forurensete tunge rivemasser. Det ble ikke gjort funn som hindret ombruk av bæresystemer.



## 4.2 Siemensblokken

Siemensblokken var et administrasjonsbygg oppført for Siemens i 1962. Bygningen ble revet høsten 2020, etter at flertall av politikerne i bygningsrådet sa ja til å gi Siemens dispensasjon fra reguleringsplanen. Bygget ble revet da det ikke lengre møtte bedriftens behov for et moderne kontorbygg. Rivingen var dermed første steg før bedriften startet detaljprosjekteringen av et nytt bygg på samme tomt. Det nye bygget er tiltenkt å ha samme arkitektoniske uttrykk, bare i større format (Hagen, 2019). Bygningen var på syv etasjer pluss kjeller. Første etasje bestod av resepsjon, mens de resterende var diverse kontorlokaler. Kontorlokalene var bygget opp etter et rutenett på  $115 \times 115$  cm med minste kontorbredde på 220 cm. På slutten av 90-tallet ble bygget pusset opp. Det ble montert nye himlinger, vinduer og el-kabler ble skiftet ut og der ble montert kjøling på ventilasjonsagregatet. Kanalnettets ble skiftet ut og resepsjonen ble også pusset opp. Heisen ble bygget om i 1989. Totalt var bygget på omtrent  $2700 \text{ m}^2$ . Figur 4.4 viser bygget før riving.



Figur 4.4: Siemensbygget. Foto: Siemens

### 4.2.1 Tomt

Blokken, med adresse Bratsbergveien 5, var plassert på Siemens sin størrelsesmessige godt voksne tomt. Bygget ruvet høyt over de ellers lave industribygningene på tomten. Omkring bygget fantes parkeringer, veier og grøntarealer i nær tilknytning, som også er eid av Siemens. Utnyttelsen av tomten kan dermed sies å være lite effektiv med tanke på dens nærhet til byen. Ved bygging var det lagt opp til utvidelse av samtlige bygg på tomten (Byggekunst, 1965).

### 4.2.2 Arkitektur

Bygget var smalt, noe som sammen med den omkringliggende bebyggelsen understreket blokkens høyde. Uttrykket var modernistisk, enkelt og praktisk. Det ble sagt den så ut som seks bibler stablet oppå en liten salmebok. Salmeboken i første etasje var mindre og glassert. Den sto i kontrast til de øvrige etasjene som besto av lange rekker H-vinduer og riflede fasadeplater i stål malt skittenrødt. I resepsjonen var det høyt under taket, grått



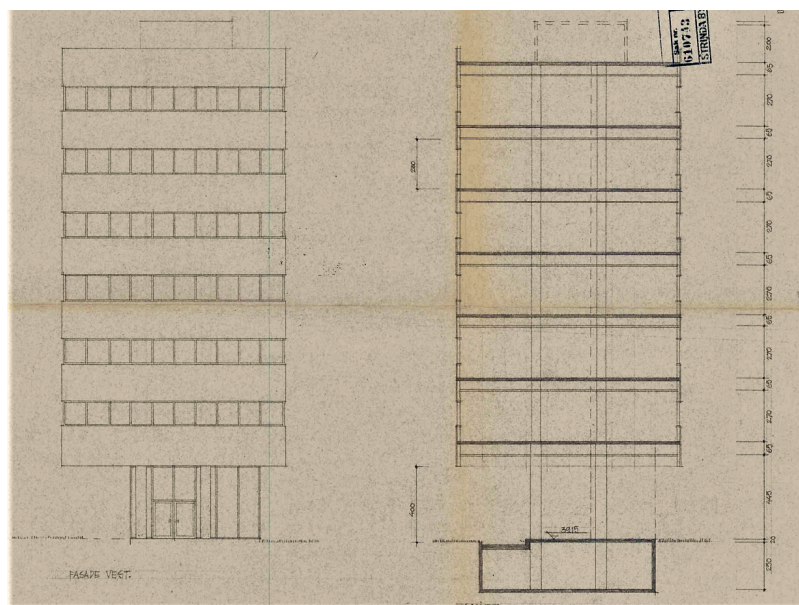
Figur 4.5: Satellittbilde med Siemens' tomt markert i blått. Området er i hovedsak dominert av lave industribygg. Siemensblokken stod omtrent midt på tomten til høyre, som vist med rød pil. Hentet fra [geoinnsyn.nois.no](http://geoinnsyn.nois.no).

gulv i naturstein og vegger kledd i samme røde platene. Inntrykket kan sies å ha vært industrielt, solid og evigvarende. NTH professor Herman Krag tegnet i sin tid Siemensblokken, som siden, i 1967, vant Arkitektprisen. Blokken var vernet med klassifisering som antikvarisk verdiklasse C, men foreslått løftet til kategori B, høy, eller A, svært høy antikvarisk verdi (WikiStrinda, 2020).

### 4.2.3 Konstruksjon

Konstruksjonen var en plasstøpt dekke- og søylekonstruksjon i armert betong. Siden arealet langs veggene ble sett på som mest verdifulle ble søylene trukket inn i bygget for å ikke komme i veien. Den åpne løsningen førte til at kanaler, ledninger, rørpost og lignende ble ført vertikalt langs kjernen for å så føres horisontalt i dekkene. På undersiden av dekkene fantes et dragersystem som virket avstivende. Vindkrefter ble opptatt i kjernen, bestående av trapperomsvegger og heissjakt, og ført ned i grunnen ved hjelp av denne. Yttervegger var bindingsverk og innervegger i kontorlandskap var lettvegger. Enkelte vegger mot toalett og arkivområdet bestod av pusset tegl. En original snittegning kan sees i Figur 4.6.

Blokken var 11,5 meter dyp, 33,4 meter bred og ruvet 27,0 meter over bakken. Konstruksjonen hadde to søylerekker med spenn på 3 meter i lengderetning og  $3,8 + 3 + 3,8$  meter i dybderetning. Bærende dragere hadde en nedstikning på 0,54 meter. Originale beregninger viser en prosjektert kapasitet for nyttelast på  $3,9 \text{ kN/m}^2$  for dekker i 1. til 6. etasje. Det går ikke fram av dokumentasjonen hvorvidt dette er bruddlast eller nyttelast, men da sikkerhetsfaktorer ikke er nevnt, antas det å være bruddlast. Det er i denne



Figur 4.6: Originalt snitt av vestvendt fasade. Tegnet av Proton AS i 1961

oppgaven ikke vurdert hvorvidt bærende søyler har tilstrekkelig kapasitet til påbygg i høyden. Det antas at søyler ikke vil tåle en påbygning da det ikke var prosjektert for dette i utgangspunktet. Kritiske faktorer ved vurdering av bevaring er listet i Tabell 4.2.

Tabell 4.2: Oversikt over kritiske faktorer knyttet til konstruksjonen og deres verdier for Siemensblokken

Kritiske faktorer	Verdi
Spenn mellom søyler i dybderetning	3,8 + 3,0 + 3,8 m
Spenn mellom søyler i lengderetning	3,0 m
Maksimal nedbygning bærende elementer	540 mm
Etasjehøyde i kontorarealer	3,2 m
Dybde	11,5 m
Bredde	33,4 m
Dekketykkelse	110 mm
Lastkapasitet	3,9 kN/m <sup>2</sup> (antatt bruddlast)
Antatt restlevetid	Middels til lang (noe usikkert)
Antall etasjer	7

#### 4.2.4 Miljø

I forbindelse med rivingen av Siemensblokken ble det foretatt en miljøkartlegging av helse- og miljøfarlige stoffer av COWI AS. Det ble funnet en rekke stoffer ved kartlegging og prøvetaking. De er som følger: asbest, bly i soilrør/beslag, bromerte flammehemmere i cellegummi, el-avfall, ftalater i vinylmattor og isolerglassruter, KFK/HKFK/HFK og klorparafiner/bromerte flammehemmere i PUR-skum og isopor, miljøgifter i isolerglassruter og fugemasse, og asbest og sink i maling på fasadeplater. Mest betydning for denne oppgaven var vinyl og vinylflisene som var limt til betongdekker og trapper. Vinylflisene og lim var asbestholdig og inneholdt ftalater. For ombruk av bæresystemet måtte stoffene vært fjernet.



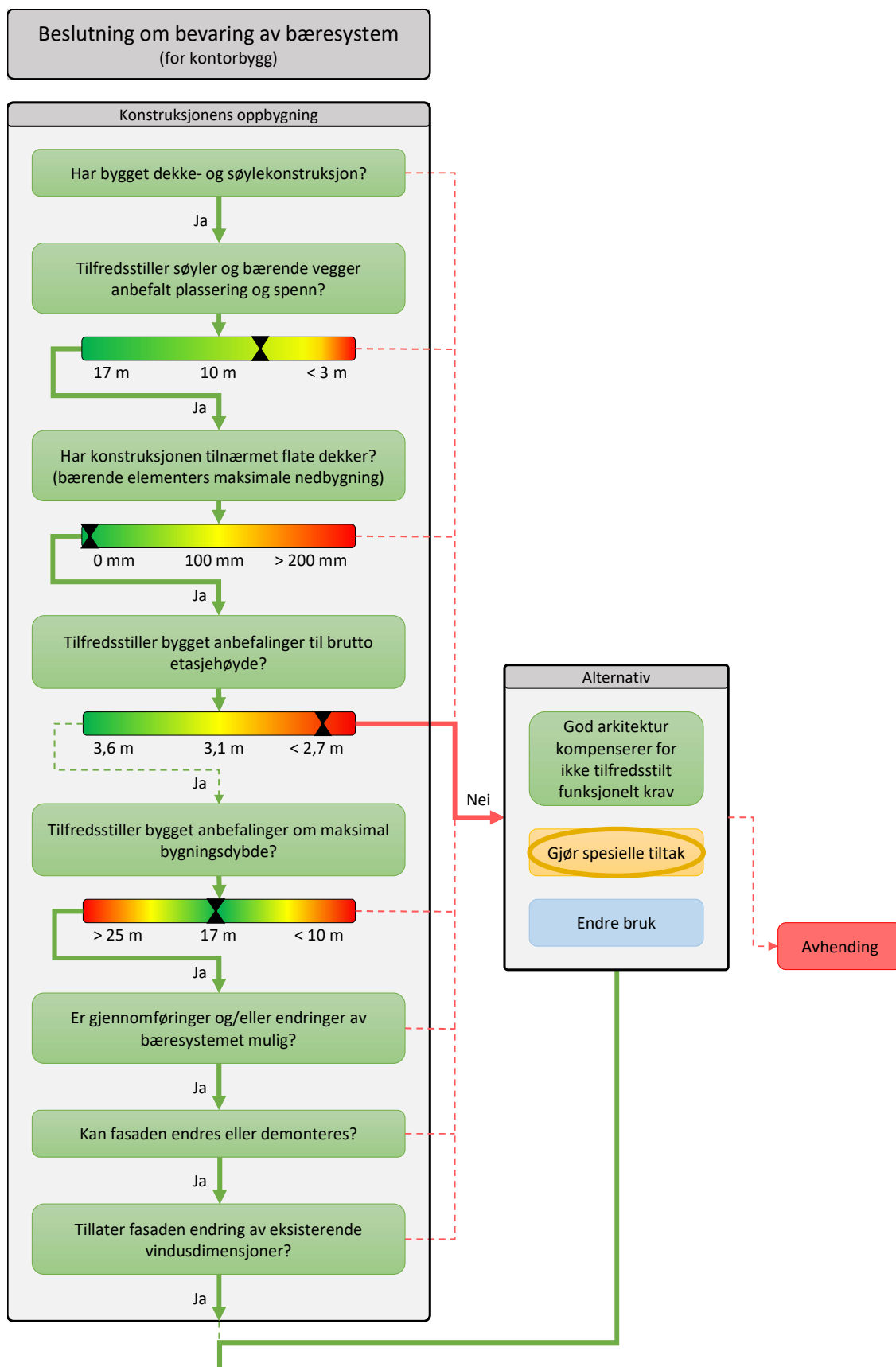
## 5 Resultater

Dette kapitlet presenterer resultater oppnådd ved bruk av vurderingsverktøyet, presentert i Avsnitt 3.3, på casebyggene presentert i Avsnitt 4. For begge tilfellene vil først dokumentasjonen som ligger til grunn for vurderingene kort nevnes. Siden presenteres vurderingstreet ferdig utfylt, før en forklaring til hvert enkelt punkt kommer i påfølgende delkapittel.

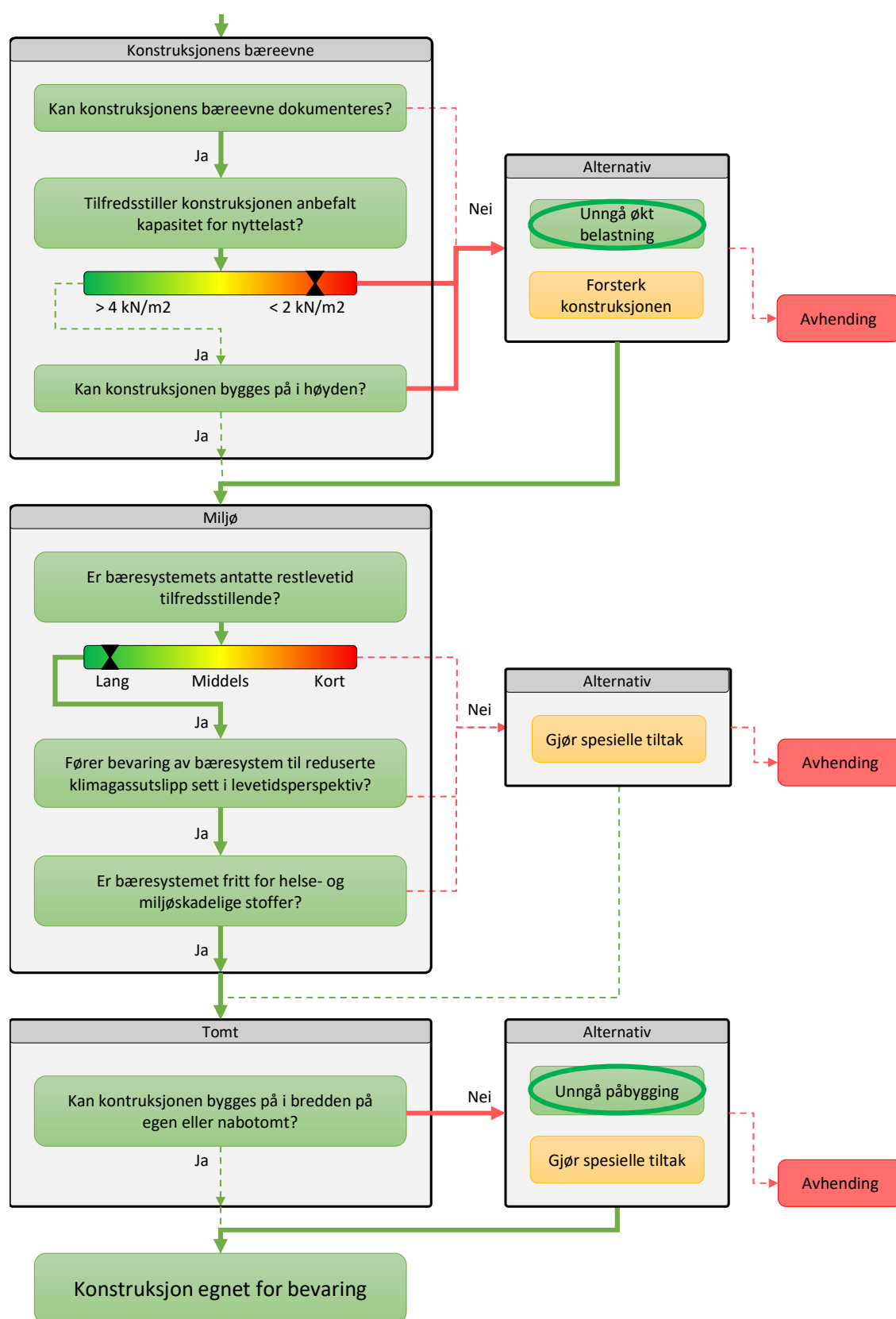
### 5.1 Vurdering rundt bevaring av bæresystem for MAX-bygget

For MAX-bygget er det benyttet en detaljert IFC-fil til å ta relevante mål av konstruksjonen. Disse målene er benyttet for å besvare spørsmålene i *Konstruksjonens oppbygging*. For å vurdere bygningens lastkapasitet er det benyttet originale beregninger fra Byggkonsult AS. Dette er samme dokumentasjonsgrunnlag Norconsult AS har benyttet i forbindelse med prosjektering av totalrehabiliteringen. For vurdering av eventuelle klimagassreduksjoner er det benyttet klimagassberegninger produsert av Norconsult AS. Vurdering av innhold av miljøgifter i bæresystemet baserer seg på en miljøsaneringsbeskrivelse produsert av Veidekke Entreprenør AS. Denne er av god kvalitet og antas å gi troverdige svar. For å besvare spørsmålene under *Tomt* er det kun benyttet kartutsnitt og rimelige antagelser. Øvrige metoder er ikke prioritert da målet med casestudiet ikke er å støtte oppunder, eller kritisere de valg som er gjort, men heller videreutvikle vurderingsverktøyet.

5.1.1 Beslutningstre for MAX-bygget



Figur 5.1: Beslutningstre for MAX-bygget (del 1)



Figur 5.2: Beslutningstre for MAX-bygget (del 2)

### 5.1.2 Forklaring til beslutningstre

#### Konstruksjonens oppbygging

1. Har bygget dekke- og søylekonstruksjon?
  - Ja, søylekonstruksjon med plasstøpte søyler på 400×400 mm og dekke med tykkelse 200 mm.
2. Tilfredsstiller søyler og bærende vegger anbefalt plassering og spenn?
  - Ja, søyler er fordelt på tre rader med spenn 7,55 m i dybderetning og 7,10 m i lengderetning. Bærende vegger er plassert langs nordveggen og sørveggen. Gridsystemets oppbygging tillater gode kontorløsninger.
3. Har konstruksjonen tilnærmet flate dekker?
  - Ja.
4. Tilfredsstiller bygget anbefalinger til brutto etasjehøyde?
  - Nei, brutto etasjehøyde er omtrent 2,8 m i kontorlokalene. Spesielle tiltak må iverksettes for å oppnå ønsket funksjonalitet samtidig som Arbeidstilsynets krav om 2,7 m himlingshøyde i arbeidsrom tilfredsstilles.
5. Tilfredsstiller bygget anbefalinger om maksimal bygningsdybde?
  - Ja. Bygget har 17 m bygningsdybde. Dette er i tråd med SINTEF Byggforsk (2004a) sin anbefaling for bygg med parkeringskjeller.
6. Er gjennomføringer og/eller endringer av bæresystemet mulig?
  - Ja, bæresystemet kan endres.
7. Kan fasaden endres eller demonteres?
  - Ja, fasaden kan rives.
8. Tillater fasaden endring av eksisterende vindusdimensjoner?
  - Ja, fasaden kan rives helt eller delvis og nye vinduer kan installeres.

#### Bæreevne

9. Kan konstruksjonens bæreevne dokumenteres?
  - Ja, bæreevnen kan dokumenteres gjennom originale beregninger. Det finnes derimot lite dokumentasjon fra reparasjoner og endringer i ettertid.
10. Tilfredsstiller konstruksjonen anbefalt kapasitet for nyttelast?
  - Nei. Kapasitet for nyttelast er originalt på 2 kN/m<sup>2</sup>. Ved påstøp og montering av tekniske installasjoner vil denne bli enda lavere.
11. Kan konstruksjonen bygges på i høyden?
  - Nei. Dårlig lastkapasitet er til hinder for økt belastning. Det er i denne oppgaven ikke foretatt kontroll av søylers bæreevne, men det antas at disse ikke vil tåle lasten av et eventuelt påbygg i høyden.



## Miljø

12. Er bæresystemets antatte restlevetid tilfredsstillende?
  - Ja. Bæresystemet er kun 34 år gammelt, og bærende søyler har stått skjernet innenfor klimaskjermen. Selve kontorblokken kan dermed antas å ha lang restlevetid, avhengig av utført vedlikehold. Parkeringsdekket og andre eksponerte betongelementer kan derimot ha noe redusert levetid.
13. Fører bevaring av bæresystem til reduserte klimagassutslipp sett i et levetidsperspektiv?
  - Klimagassberegninger utført av Norconsult AS viser til en reduksjon av klimagassutslipp på 60 prosent for materialer sammenlignet med alternativet om riving og nybygg. Klimagassbesparelsen oppnås i hovedsak på grunn av ombruk av betongkonstruksjonene, men også andre mindre bygningsdeler med tilstand “grei nok” er ombrukt. Bygget oppnår passivhusstandard for kontorarealer og energiklasse A for næringslokaler. Byggets sørvendte fasade er kledd med solceller som forventes å levere 75 000 kWh. Passiv solskjerming på øst- og vestvendt fasade sørger for godt inneklima og redusert energibehov til avkjøling. Berger mfl. (2020) rapporterer at akkumulerte klimagassutslipp fra energi- og materialbruk vil gå til null etter omlag fem år, takket være energiproduksjonen.
14. Er bæresystemet fritt for helse- og miljøskadelige stoffer?
  - Det er funnet innhold av tungmetaller over normverdi i brystning på parkeringsdekk i 2. etasje, i betong i trapperom mot Tempeveien og i støttemur langs nedkjøringsrampe til parkeringskjeller. Massene må behandles som forurensede tunge rivemasser ved riving.

## Tomt

15. Kan konstruksjonen bygges på i bredden på egen eller nabotomt?
  - Tomten er tilnærmet helt utbygd, men med kun i én etasje over store deler av tomten. Dette fører til dårlig plassutnyttelse. Tomt i nord hvor det nå står en bensinstasjon er eneste mulighet for oppkjøp for utvidelse. Det kan tenkes at forsterkning av P-dekke eller riving og nybygg av dette vil være en bedre løsning.

### 5.1.3 Oppsummering MAX-bygget

MAX-bygget tilfredsstillende de fleste krav fra beslutningstreet, men ikke alle. Konstruksjonen imøtekommer stort sett krav til oppbygging, men har for lav etasjehøyde. En etasjehøyde på 2,8 meter byr på store utfordringer. Arbeidstilsynets krav om 2,7 meters himlingshøyde ved faste arbeidsplasser må imøtekommes, samt kravet om minimum 2,2 meter der mennesker skal stå oppreist. Ved påstøp for avretting og installering av akustisk himling og ventilasjon vil det kreves spesielle tiltak for å ivareta fleksibiliteten i bygget. Den lave etasjehøyden vil også føre til dårlige dagslysforhold midt i etasjene.

Under *Konstruksjonens bæreevne* oppfyller bygget ikke anbefalt kapasitet for nyttelast. Den originale nyttelasten på  $2 \text{ kN/m}^2$  er i utgangspunktet i nedre sjikt av tillatt nyttelast etter NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2019. Påstøp og montering av tekniske installasjoner vil kunne redusere kapasiteten ytterligere.

### 5.1.4 Anbefaling MAX-bygget

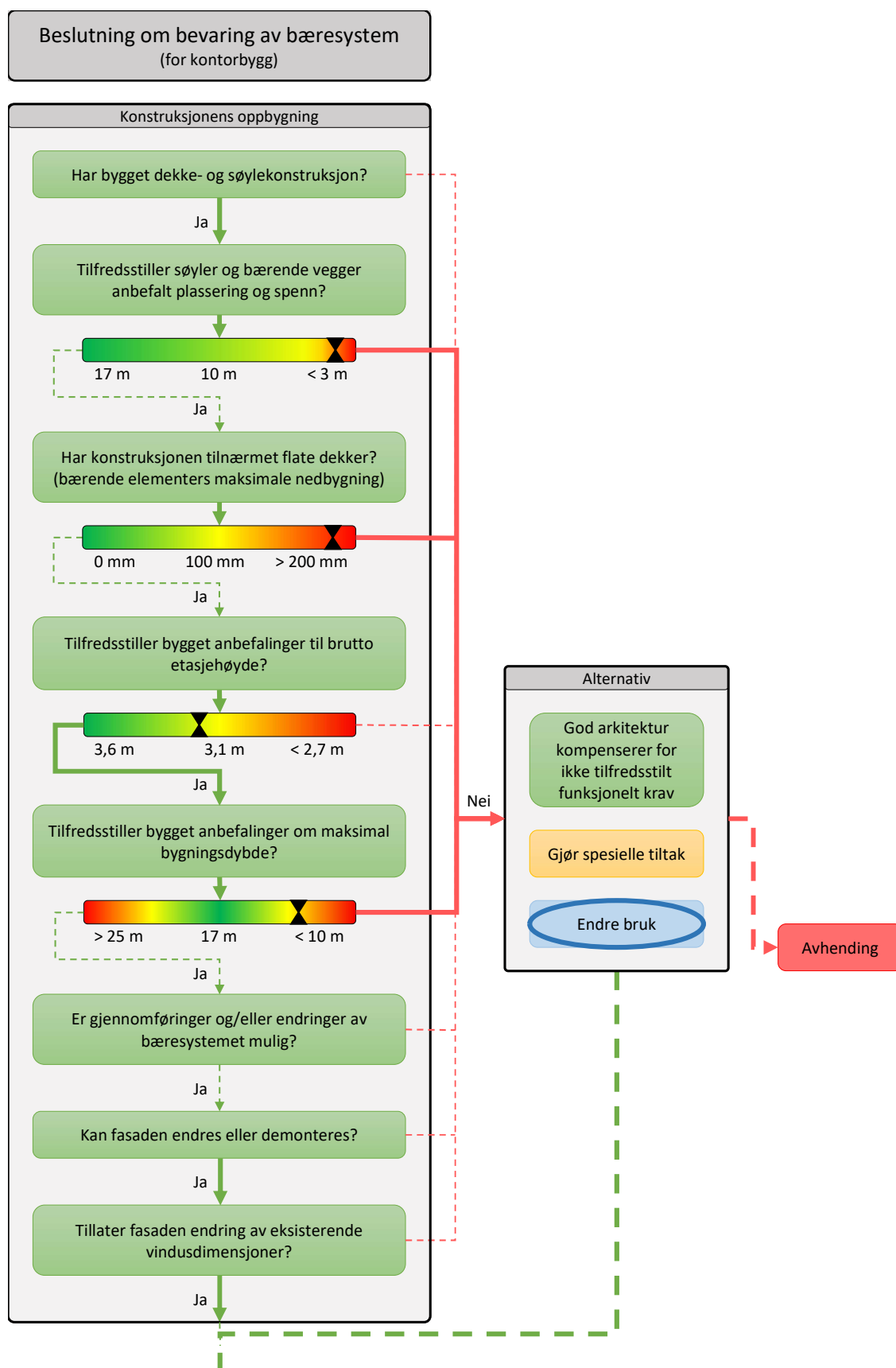
Ombruk av MAX-byggets bæresystem vil by på utfordringer knyttet til etasjehøyde og lastkapasitet. Begge deler vil redusere fleksibiliteten til bygget og kan føre til begrensinger når det kommer til innredning og oppdeling. Lav etasjehøyde kan gi eventuelle leietakere dårligere inntrykk av lokalene, og dermed føre til lavere utleiepris. Eventuell redusert inntekt bør vurderes før beslutning tas for å evaluere totaløkonomien i prosjektet. Miljøaspektet vil stå høyt i vurderingen om ombruk. Det er beregnet en reduksjon i klimagassutslipp på 60 prosent ved ombruk sammenlignet med å bygge nytt. Miljøbevissthet er helt klart i vinden, og vil sannsynligvis bidra til å kompensere for ulempen ved lav himlingshøyde. Det anbefales dermed å bevare MAX-byggets bæresystem.

## 5.2 Vurdering rundt bevaring av bæresystem for Siemensblokken

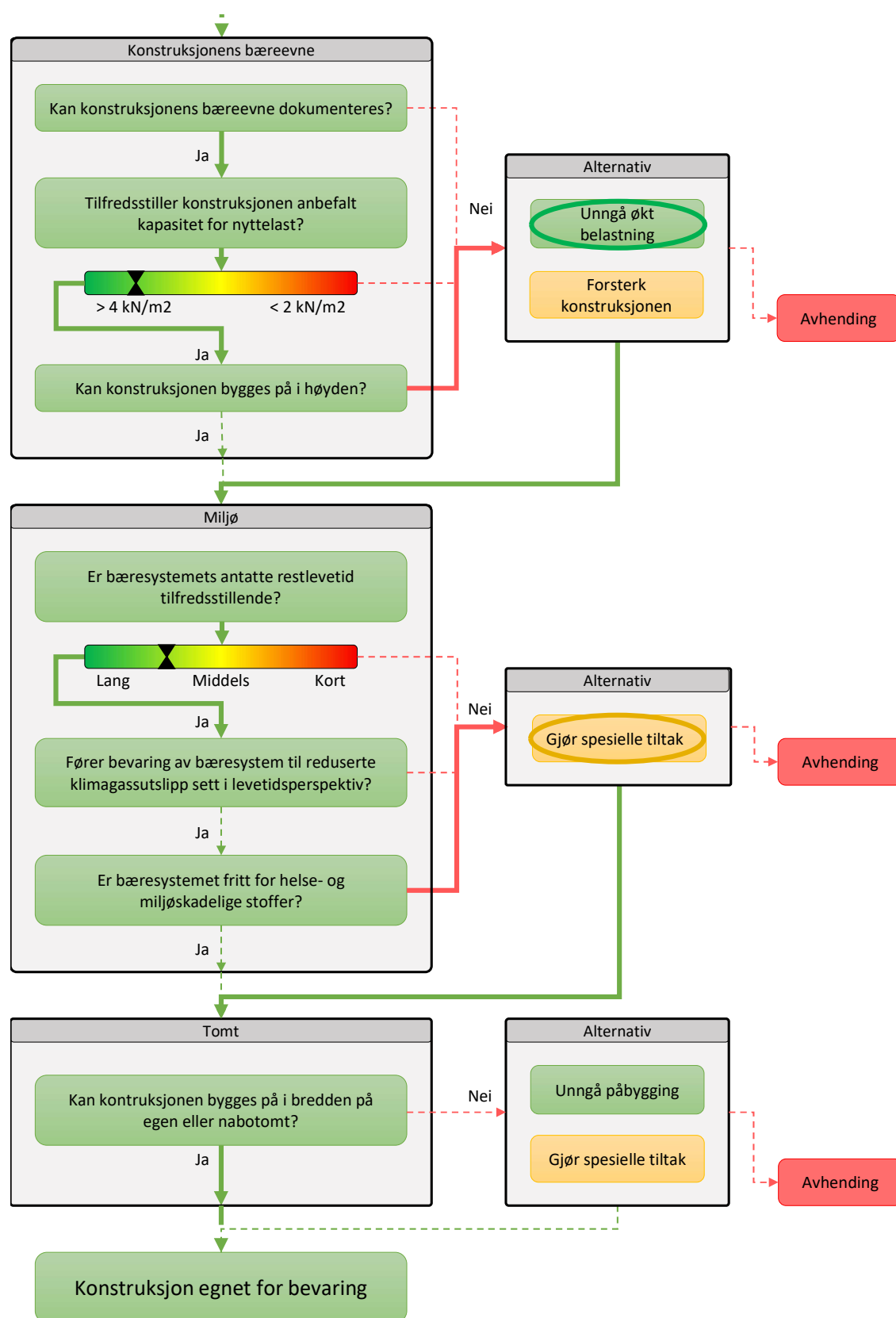
For Siemensblokken er det benyttet en detaljert IFC-fil fra arkitektfirma Karl Knudsen AS, for å besvare de spørsmål som angår byggets oppbygging. Originale beregninger utført av sivilingeniør Arne R. Reinertsen er lagt til grunn for å vurdere byggets bæreevne. Det finnes ingen klimagassregnskap som vurderer alternativer til riving. Det er heller ikke prioritert å utføre et slikt regnskap da dette ikke er kritisk for testingen av vurderingsverktøyet. For vurderinger av tilstedeværelse av helse- og miljøskadelige stoffer, er det benyttet en miljøsaneringsbeskrivelse produsert av COWI AS på oppdrag fra Siemens AS.



## 5.2.1 Beslutningstre for Siemensblokken



Figur 5.3: Beslutningstre for Siemensblokken (del 1)



Figur 5.4: Beslutningstre for Siemensblokken (del 2)

### 5.2.2 Forklaring til beslutningstre

#### Konstruksjonens oppbygging

1. Har bygget dekke- og søylekonstruksjon?
  - Ja, plasstøpt dekke- og søylekonstruksjon med sirkulære søyler på 400 mm, dekke på 110 mm og dragere på 540×350 mm.
2. Tilfredsstiller søyler og bærende vegger anbefalt plassering og spenn?
  - Nei, søyler er fordelt på to rader med spenn 3,8 + 3,0 + 3,8 m i dybderetning og 3,0 m i lengderetning. Inntrukkede søyler sørger for full utnyttelse av vindusarealene.
3. Har konstruksjonen tilnærmet flate dekker?
  - Nei, nedbygningen til bærende dragere er 540 mm. Dette er langt over anbefalt maksimal nedbygning.
4. Tilfredsstiller bygget anbefalinger til brutto etasjehøyde?
  - Nei, brutto etasjehøyde er 3,2 m. Hvis det ønskes etablert flat himling må den senkes ned under nedstikkende dragere. Dette gir en netto etasjehøyde på omtrent 2,6 m, som er lavere enn Arbeidstilsynets krav om 2,7 m himlingshøyde i arbeidsrom. Spesielle tiltak på iverksettes for å oppnå tilfredsstillende himlingshøyde. Dette kan være å unngå senket himling og heller eksponere de bærende dragerne.
5. Tilfredsstiller bygget anbefalinger om maksimal bygningsdybde?
  - Nei, blokken har 11,5 m bygningsdybde. Dybden sørger for tilfredsstillende dagslystilgang i hele bygget, men øker varmetap og reduserer arealeffektivitet og innredningsmuligheter.
6. Er gjennomføringer og/eller endringer av bæresystemet mulig?
  - Usikkert, det er ikke foretatt nødvendige tester.
7. Kan fasaden endres eller demonteres?
  - Ja, fasaden kan rives eller demonteres i sin helhet.
8. Tillater fasaden endring av eksisterende vindusdimensjoner?
  - Ja.

#### Bæreevne

9. Kan konstruksjonens bæreevne dokumenteres?
  - Ja, originale statiske beregninger for bæresystem dokumenterer prosjektert bæreevne.

10. Tilfredsstiller konstruksjonen anbefalt kapasitet for nyttelast?
  - Ja, bæresystemet er planlagt for nyttelast på omtrent  $3,9 \text{ kN/m}^2$  over hele dekket, men det er usikkert hvorvidt sikkerhetsfaktorer er inkludert. Noe redusert kapasitet bør medregnes.
11. Kan konstruksjonen bygges på i høyden?
  - Nei, det er ikke prosjektert for utvidelse i høyden. Dekket over 7. etasje har kun planlagt nyttelast på  $1,4 \text{ kN/m}^2$ . Nødvendige beregninger og utbedringer av bæresystem må utføres dersom dette er ønskelig. Eventuell påbygging i høyden bør vurderes utført i lettere materialer som massivtre.

### Miljø

12. Er bæresystemets antatte restlevetid tilfredsstillende?
  - Antagelig. Betongkonstruksjonen er 57 år gammel, og har stått skjermet for skadelig miljø siden ferdigstilling. For å si noe helt sikkert burde konstruksjonen vært inspisert for fuktrelaterte betongskader, som armeringskorrosjon.
13. Fører bevaring av bæresystem til reduserte klimagassutslipp sett i et levetidsperspektiv?
  - Uvisst. Beregninger for å sammenligne konstruksjon med ombrukt bæresystem og tilsvarende nybygg er ikke utført. Siemens hadde planer om å bygge et tilsvarende bygg, bare større. Klimagassberegninger burde i så fall inkludert påbygg i bredden på eksisterende bærekonstruksjon, for å oppnå tiltenkt areal, og sammenlignet dette med planlagt nybygg. Energimessig er det ikke tenkelig at eksisterende bærekonstruksjon er til stort hinder for bygging av energieffektiv bygningskropp. Den slanke fasongen vil derimot øke ytterveggareal per kvadratmeter, og dermed også energibruk per kvadratmeter. Utover dette kan konstruksjonen begrense mulighetene for optimalt ventilasjonssystem, noe som også kan øke energibruken.
14. Er bæresystemet fritt for helse- og miljøskadelige stoffer?
  - Nei. Det finnes flere steder asbestholdig vinylflis, lim og murpuss. I tillegg inneholder vinylbelegg og vinylister så høye konsentrasjoner av ftalater eller klorparafiner at de må behandles som farlig avfall. Før ombruk av bæresystem bør slikt fjernes fullstendig. Forekomster av andre miljø- og helseskadelige stoffer er funnet i store deler av bygget. Begge alternativene, riving og ombruk, krever omfattende miljøsanering.

### Tomt

15. Kan konstruksjonen bygges på i bredden på egen eller nabetomt?
  - Ja, tomten er romslig med utbyggingsmuligheter i alle retninger.

### 5.2.3 Oppsummering Siemensblokken

Siemensblokken har hverken anbefalt spenn mellom søyler, flate dekker eller anbefalt bygningsdybde. Dette medfører begrensninger når det kommer til tekniske installasjoner og senket himling. Det kan ikke etableres helt flat himling med skjult ventilasjon på grunn av de nedstikkende bjelkene. I så tilfelle ville bygget endt opp med omtrent 2,6 meter himlingshøyde i hele etasjen. Et alternativ vil være å bygge installasjonsgulv med høyde 150-450 mm med ventilasjon under gulv. Løsningen vil gi tilfredsstillende himlingshøyde for permanente arbeidsplasser, men redusere innredningsmulighetene, og dermed fleksibiliteten, på grunn av nedstikkende bjelker på tvers av bygget. Den reduserte bygningsdybden vil gi bedre dagslystilgang og føre til at permanente arbeidsplasser også kan etableres i blokkens midtsone. Utover dette vil den slanke fasongen føre til økt varmetap. Miljømessig sett vil bevaring av bæresystem sannsynligvis føre til reduserte klimagassutslipp gjennom byggets levetid til tross for økt varmetap.

Konstruksjonens bæreevne er tilfredsstillende for kontorbygg selv om sikkerhetsfaktorer ikke skulle være inkludert i tilstrekkelig grad. Påbygg i høyden er derimot ikke mulig på grunn av manglende lastkapasitet for øverste dekke. Søylenes kapasitet er ikke kontrollert i denne vurderingen, men det antas at heller ikke disse har tilfredsstillende bæreevne til påbygg i høyden, da det ikke var planlagt for utvidelse ved bygging. Tilstedeværelse av helse- og miljøfarlige stoffer fører til et behov for omfattende miljøsanering både ved riving og ombruk av bæresystem. Det er uvisst om det kreves destruktiv inngripen i bæresystem for å utføre nødvendig sanering. I så fall vil bevaring av bæresystem bli særlig uhensiktsmessig.

### 5.2.4 Anbefaling for Siemensblokken

Ombruk av Siemensblokkens bæresystem vil resultere i et kontorbygg med begrenset fleksibilitet og arealeffektivitet. Riving av blokken var motivert av bedriftens ønske om å bygge nytt og større. Utvidelse av selve blokken vil by på utfordringer da den sannsynligvis ikke tåler påbygg i høyden. Påbygg i bredden vil også være uhensiktsmessig. Det ville blitt kostbart og komplisert og bygget ville fortsatt hatt problem med lav himlingshøyde.

Siemens' tomt er fortsatt romslig, og med tanke på sin nærhet til byen kan det tenkes at det med tiden vil lønne seg å bygge ut tomten for ytteligere arealutnyttelse eller for salg av deler av tomten. En mulig løsning kunne vært å bygge det nye kontorbygget et annet sted på tomten og bevart det gamle bygget. Det gamle bygget kunne vært solgt, eller renoverert av Siemens for så å leies ut, til en bruker med andre krav. Dette alternativet er svært avhengig av langsiktig bedriftsstrategi. Dersom dette alternativet er utelukket fra bedriftens side, vil riving være naturlig.



## 6 Diskusjon

I dette kapittelet diskuteres verktøyet utviklet for vurdering av bæresystemers ombrukspotensiale presentert i Avsnitt 3.3, vist i Figur 3.7 og Figur 3.8.

### 6.1 Nødvendighet og hensikt

Formålet med denne oppgaven er å *avdekke status for ombruk av bygningsmaterialer i Norge i dag, og på bakgrunn av dette foreslå hvordan ombruk best kan bidra til klimagassreduksjoner i byggebransjen*. Gjennom litteratursøket er det avdekket et utvalg studier som søker mot å identifisere bygningsmaterialers ombrukspotensiale. Bæresystemer i prefab-betong og stål er trukket fram som elementer med stort potensiale. Materialene er enerigintensive å produsere, lar seg ofte demontere for bruk annensteds og utgjør høy vektprosent av byggets totale masse.

I Nordby (2018) kommer det fram at det kan forventes reduksjoner i klimagassutslipp på 2 prosent ved et realistisk ombruk på 10 prosent av nasjonale avfallsmengder. Dette er små besparelser, og vil i liten grad oppfordre til ombruk. Hun rapporterer også om 94 prosent reduksjon i klimagassutslipp per tonn ombrukt materiale i det enkelte prosjekt. I Nordby, Lunke mfl. (2021) konkluderes det med at “Det er stor sammenheng mellom klimagassreduksjoner og vekt, slik at et ombruksregnestykke basert på vekt legger til rette for at ombruket resulterer i store klimagassbesparelser”. Det er dermed rimelig å anta at nøkkelen til vellykket ombruk ligger i ombruk av størst mulig masse. Det er dermed med god grunn at litteraturen forsøker å finne løsninger for ombruk av demonterbare bæresystemer. Ombruk av plasstøpte bæresystemer i betong er derimot lite omtalt. Disse er ikke mulig å demontere skånsomt og dermed ikke interessant for ombruk annensteds. Litteraturen hevder knusing av slike bæresystemer for bruk som fyllmasse er beste løsning. Denne formen for gjenbruk går under såkalt nedsirkulering, hvor kvaliteten av det resirkulerte materialet er lavere enn det originale. Selv ved knusing og bruk av tilslaget i ny betong vil utslippskuttene være marginale, da produksjonen av sement står for omtrent 90 prosent av utslippene (SINTEF, 2020).

Lokal ombruk av bæresystemer byr ikke på utfordringer knyttet til demontering, transport, lagring, remontering og resertifisering i henhold til Byggevarereforordningen. Det er nettopp disse barrierene de fleste ombruksstudier forsøker å identifisere og løse. Lokalt ombruk av bæresystemer byr derimot på andre utfordringer, knyttet til blant annet byggets endringsdyktighet. Krav til bæresystemer for lokalt ombruk er dermed svært ulik krav som stilles til bygningsmaterialer som skal demonteres og ombrukes annensteds. Nettopp dette kan være en av grunnene for at lokalt ombruk av bæresystemer er lite omtalt i ombrukslitteraturen. En annen grunn kan være at lokalt ombruk av bæresystemer gjerne faller innunder rehabilitering, med eller uten hensikt. Ordet “ombruk” er enda ikke viden kjent i byggebransjen, noe som medfører at rehabiliteringsprosjekter med ombruk av bæresystemer gjerne utelater å benytte ordet “ombruk” i forbindelse med prosjektet. Det finnes eksempler fra litteraturen hvor slikt ombruk omtales som gjenbruk (Skårdal og Strand, 2010). Først gjennom FutureBuilt (2020) og deres krav til sirkulære bygninger, settes bevaring av bæresystemer i fokus under begrepet “ombruk”. Gjennom deres kriterium “Miljøbasert beslutning om rehabilitering og riving” og “Ombruk av bygningsdeler” presiseres viktigheten av å bevare de tyngre bygningsdelene ved å unngå riving.

Verktøyet laget i forbindelse med denne oppgaven er et hjelpemiddel for å konkretisere potensialet for ombruk av bæresystemer i eldre kontorbygg. Det kommer som en reaksjon på manglende fokus på nettopp dette i litteraturen. Verktøyet er særlig myntet på å øke ombruk av bæresystemer i plastøst betong, men prinsippene er de samme om konstruksjonen består av prefab-betong, stål eller massivtre. Verktøyet vil kunne hjelpe bygningseiere til å ta beslutninger på korekt grunnlag. Både miljøbasert, slik som FutureBuilt krever for sirkulære bygg, og basert på muligheter for praktisk gjennomføring og totaløkonomi i prosjektet. Verktøyet vil kunne bidra til å forsvare riving av bygg, så vel som bevaring. Ved riving av Siemensblokken høstet bedriften kritikk fra riksantikvaren for å ikke bevare bygget. Et konkret sett kriterier for bevaring vil kunne bidra til å forsvare slik riving dersom kriteriene ikke er oppfylt.

## 6.2 Prosessen bak

Prosessen med å lage verktøyet startet med å besvare første del av problemstillingen for oppgaven: *å avdekke status for ombruk av bygningsmaterialer i Norge i dag*. Dette ble gjort gjennom litteraturstudie som forklart under metodedelene. Litteraturen ble analysert for å besvare andre del av problemstillingen: *foreslå hvordan ombruk best kan bidra til klimagassreduksjoner i byggebransjen*. Ettersom lokalt ombruk ble identifisert som området med størst potensiale, og siden bæresystem er største fraksjonen i de fleste bygg, ble dette valgt fokusområde. Kontorbygg ble siden satt i fokus på grunn av sin størrelse, repetitive oppbyggingsmønstre, eierform og universelle krav til endringsdyktighet. Litteratursøket ble utvidet for å avdekke hvilke kriterier som må tilfredsstilles for at byggeiere skal ha et ønske om å bevare bæresystem.

Først ble det undersøkt hvorvidt arkitektonisk stil, tidsepoker, aktuelle bygningsstandarder og bruk av helse- og miljøskadelige stoffer ved oppføring var viktig for slik ombruk. Det viste seg at bygg i samme tidsepoke i varierende grad forholdt seg til samme stil, standarder og oppbygging. Funn tyder på at eiers ambisjoner for bygningen og økonomisk kapasitet ved oppføring, er mer styrende for utformingen. Når det gjelder bruk av helse- og miljøskadelige stoffer i bygninger, kom det fram at dette må vurderes i hvert enkelt tilfelle. Kartlegging gjort av Norsk forening for farlig avfall (NFFA) viser at farlig avfall innføres og fjernes sporadisk fra tidlig på 1900-tallet frem til i dag (NFFA, 2021).

Endringsdyktighet ble etter hvert identifisert som mest sentralt for ønske om å ombruke kontorbygningers bæresystemer. Spesielt siden mangel på dette i stor grad bidrar til å forringe utleie- eller salgsverdien. Utover endringsdyktighet ble det i verktøyet satt krav til tilfredsstillende bæreevne og at ombruk fører til reelle klimagassreduksjoner. Siste kravet er viktig for å sikre at ombruk ikke fører til økte utslipp sett i et levetidsperspektiv. Dette kan hende dersom ombruk går på bekostning av energieffektivitet eller dersom energi- og ressurskrevende metoder trengs for å gjennomføre ombruk. Klimagassregnskapet fra MAX-bygget nevner en reduksjon i klimagassutslipp ved ombruk av bæresystem på omkring 60 prosent, sammenlignet med riving og nybygg. Dette gir en pekepinn på potensialet for klimagassreduksjoner i det enkelte prosjekt. Utover dette er det i denne oppgaven ikke utført egne klimagassberegninger som bekrefter funn gjort i litteraturen.

Beslutningstreet har gjennomgått en kontinuerlig prosess med utvikling, testing og evaluering opp mot casebyggene. Verktøyet er utviklet utelukkende med utgangspunkt i litteratur og uten innspill fra aktører i bransjen. Samarbeid med relevante aktører kunne

fylt eventuelle hull i litteraturen og bidratt til et mer komplett og brukervennlig verktøy. Tilbakemeldinger fra veileder har vært sentralt for oppbygging og design av beslutningstreet.

### 6.3 Resultatet

Beslutningstreet for vurdering av bæresystemers ombrukspotensiale består av totalt 15 spørsmål. Disse er igjen delt inn i fire underkategorier for å tydelig dele opp vurderingsprosessen. Spørsmålene i *Konstruksjonens oppbygging* og *Konstruksjonens bæreevne* kan henholdsvis besvares med IFC-fil og statiske beregninger. For *Miljø* trengs det tilstandsrapport på konstruksjon, klimagassregnskap med energiberegninger og miljøsaneringsbeskrivelse. For *Tomt* kreves kart over området, tomtegrenser og eksisterende bebyggelse.

Kravene er formulert som spørsmål med svaralternativene *Ja* og *Nei*. For mange av spørsmålene kan svaret være mer komplekst. I så tilfelle vil den subjektive meningen til personen som vurderer konstruksjonen kunne farge vurderingen. Begrunnelser for de valg som tas må nedtegnes tekstlig for etterprøvbare resultater. Dersom alle kravene i beslutningstreet blir oppfylt, vil de grønne pilene føre direkte til konklusjonen om at konstruksjonen er egnet for bevaring. Ved én eller flere *Nei* vil pilene føre beslutningstaker til en boks med ulike alternativ for de forskjellige kategoriene. Ved å velge et av alternativene kan prosessen fortsette til neste kategori. Dersom det ikke er ønske om å gjøre tiltak eller godta bygget som det er, vil avhenging være naturlig. Fargekodingen er valgt for å samsvare med figurene under Avsnitt 3.3, som illustrerer de valg som kan tas for en bygning som ikke tilfredsstillende tekniske krav eller brukerkrav.

### 6.4 Anvendelsesområde og begrensninger

Verktøyet er tiltenkt å bidra til en korrekt evaluering av bæresystemer før det tas en beslutning om bevaring eller riving, og kan benyttes av byggherre, entreprenør eller prosjekterende. Da verktøyet er utarbeidet uavhengig av bedrifter eller andre interessenter, kan det sees på som et uavhengig produkt som ikke favoriserer én bestemt aktør. Verktøyet er et raskt og effektivt hjelpemiddel og kan benyttes for hurtige, innledende vurderinger, eller som utgangspunkt for grundige studier. Det kan med fordel benyttes ved ønske om oppfyllelse av FutureBults kriterier til sirkulære bygninger gjennom rehabilitering.

Beslutningstreet er utarbeidet med utgangspunkt i et litteraturstudium, uten tilbakemeldinger fra aktører i bransjen. Dette fører til usikkerheter omkring innholdet, utformingen og den faktiske nytteverdien til verktøyet. Verktøyet har også sine begrensninger når det kommer til presisjon. Som nevnt vil beslutningstakers subjektive tolkning av resultatene farge vurderingen. Verktøyet foreslår heller ingen presise løsninger dersom krav ikke er oppfylt, siden dette er svært situasjonsavhengig. Bruk av verktøyet forutsetter også gode statiske beregninger, tilstandsvurderinger, miljøkartegginger og klimagassregnskap med tilhørende energiberegninger, uten å foreslå passende metoder. Utover dette vil også det økonomiske aspektet være avgjørende ved vurdering. Verktøyet tar utgangspunkt i konseptet endringdyktighet, som i teorien ivaretar den økonomiske verdien og bruksverdien til bygningen. Utover dette forteller verktøyet ingenting om økonomisk lønnsomhet ved bevaring. Verktøyet vil dermed kun stå for en liten del av en ellers kompleks beslutningsprosess.



## 7 Konklusjon

Omstillingen til et bærekraftig samfunn må intensiveres for å oppfylle Parisavtalens mål om å ikke overstige 1,5°C innen 2100. Allerede innen 2030 må utslippene være 40-50 prosent lavere enn i 2010 (IPCC, 2018). Overgang til et sirkulært tankesett vil være et steg i riktig retning. I en slik økonomi utnyttes naturressurser og produkter effektivt i et kretsløp hvor minst mulig ressurser går tapt. Ombruk er et konsept som faller innunder et slikt system.

Hovedmålet med denne oppgaven er å avdekke status for ombruk av bygningsmaterialer i Norge i dag, og på bakgrunn av dette foreslå hvordan ombruk best kan bidra til klimagassreduksjoner i byggebransjen. For å oppnå dette er det satt fire delmål. De to første skal sammen sørge for en oversikt over dagens ombrukssituasjon i Norge og avdekke eventuelle satsingsområder for effektive klimagassreduksjoner. De to siste skal utvikle et verktøy for å utnytte avdekket satsingsområde, og teste dette gjennom to casestudier. Dette har resultert i ett hovedresultat, beslutningstreet for vurdering om bevaring av kontorbygningers bæresystemer.

Ombruk i dagens byggebransje er lite utbredt grunnet en rekke barrierer knyttet til markedsmessige, organisatoriske og tekniske aspekter i tillegg til juridiske. Gjennom analyse av litteraturen framgikk det at dagens regelverk kompliserer omsetning av ombruksmaterialer og at byggebransjen dermed har mye å hente på å satse på lokalt ombruk. I dag er lokalt ombruk av ikke-bærende elementer mest vanlig, og litteraturen diskuterer i liten grad lokalt ombruk av de tyngre bygningsdelene, som bæresystemer. Dette til tross for at bransjen anerkjenner sammenhengen mellom vekt og klimagassreduksjoner. Særlig har plasstøpte betongkonstruksjoner stort potensiale for lokalt ombruk, men ender i dag opp som avfall på deponi eller som fyllmasse ved avhending av bygg. Å avdekke hvordan slike bæresystemer kan bli bevart framfor revet kan dermed spare deponier for store mengder avfall, og atmosfæren for store mengder klimagasser. Valget om å fokusere på nettopp kontorbygningers bæresystemer baserer seg på deres tilgjengelighet, organisatoriske og bygningsmessige forhold. Flere aspekter for ønske om bevaring, som arkitektonisk stil, tidsepoker, aktuelle bygningsstandarder og bruk av helse- og miljøskadelige stoffer, er undersøkt. Endringsdyktighet er identifisert som viktigste kriterium for ønske om bevaring. God endringsdyktighet gjør at bygg kan tilpasses annen bruk enn det som var tiltenkt da bygget var oppført. Slik ivaretas utleie- og salgsværdien over tid, noe som igjen gir bygningseierne større investeringsvillighet.

Beslutningstreet utviklet for denne oppgaven tar utgangspunkt i et litteraturstudium, og er deretter ferdigstilt gjennom to casestudier. Verktøyet er utviklet for å bidra i beslutningsprosessen ved vurdering av riving eller renovering av eldre kontorbygg. Det vil bidra til en ryddig prosess hvor både praktiske og miljømessige hensyn er vektlagt. Det er fokusert på intuitivt design slik at alle aktører i prosessen kan ha en felles forståelse av at beslutningen tas på korrekt grunnlag. Beslutningstreet er delt inn i fire kategorier, hvorav den første er *Konstruksjonens oppbygging*. Kategorien fokuserer på bygningens endringsdyktighet gjennom fysisk utforming. *Konstruksjonens bæreevne* inneholder kriterier for endringsdyktighet basert på bæresystemets lastkapasitet. Kategorien *Miljø* er sammensatt av kriterier for klimagassreduksjon sett i et levetidsperspektiv, og et kriterium for vurdering av tilstedeværelse av helse- og miljøfarlige stoffer. Siste kategorien,

*Tomt*, vurderer utvidelsesmuligheter i bygningens umiddelbare nærhet. Beslutningstreet er utviklet og forbedret gjennom grundig litteraturgjennomgang og casestudier. Likevel er verktøyet kun et utgangspunkt for et ferdig sett med vurderingskriterier, og retningslinjer til disse, da denne oppgaven ikke har testet verktøyet i praksis. Det er kun teori og begrenset erfaring fra bransjen som ligger til grunn.

### 7.1 Anbefalinger for veien videre

Det kan fortsatt gjøres mye arbeid for å videreutvikle vurderingsverktøyet. For å øke nytteverdien, kunne innledningvis workshops med aktører innenfor fagfeltet vært nyttig for tilbakemeldinger og videreutvikling. Aktører kunne for eksempel bidratt til en sortering av kriterier etter grad av viktighet. Også samarbeid med FutureBuilt ville vært gunstig da de kontinuerlig jobber med ombruk i bransjen. Videre måtte verktøyet blitt testet i praksis. Testingen bør foregå gjennom pilotprosjekter for å avdekke utfordringer ved bruk. Ved å inkludere flere aktører, gjerne både byggherre, rådgiver og entreprenør, vil en få innspill med ulike synspunkt og dermed et bredere erfaringsgrunnlag. Formuleringer og oppbygging av verktøyet kan by på utfordringer da den ikke er evaluert ved praktisk bruk. Ulike oppfatninger av innholdet kan by på misforståelser og uenigheter. Dermed vil videre arbeid med formuleringer, innhold og utforming stå sentralt. Etter ferdigstilt beslutningstre kunne det med fordel vært utarbeidet en komplett guide for anvendelse av verktøyet. Guiden kunne blant annet inneholdt foreslåtte metoder for innsamling av relevant data og prosessering av denne.

## Referanser

- Andenæs, Erlend mfl. (2018). "Performance of Blue-Green Roofs in Cold Climates: A Scoping Review". I: *Buildings* 8.4.
- Arbeidstilsynet (2021). *Forskrift om utforming og innretning av arbeidsplasser og arbeidslokaler (arbeidsplassforskriften)*.
- Arge, Kirsten (2003). *Generalitet, fleksibilitet og elastisitet i kontorbygninger*. Byggforsk.
- Arge, Kirsten og Landstad, Kikkan (2002). *Generalitet, fleksibilitet og elastisitet i bygninger*. Byggforsk.
- Arksey, Hilary og O'Malley, Lisa (2003). *Scoping studies: towards a methodological framework*.
- Berger, Mona mfl. (2020). *Energiprisen 2020 - Hedrende omtale til MAX-bygget*.
- Bohne, Rolf André og Wærner, Eirik Rudi (2014). *Barriers for Deconstruction and Reuse or Recycling of Constuction Materials in Norway*, s. 89–107.
- Boye, Ebba (2019). *Sirkulær framtid – om skiftet fra lineær til sirkulær økonomi*. Oslo: Fremtiden i våre hender.
- Brand, Stewart (1995). *How Buildings Learn: What Happens After They're Built*. Penguin.
- Breivik, Jo Kristen (2017). *Oria, artikler og kildekritikk på 1-2-3: NTNU Universitetsbibliotekets fagside for realfag*. URL: <https://www.ntnu.no/blogger/ub-realfag/2017/02/22/ta-i-bruk-oria/> (sjekket 23.11.2020).
- Brundtland, Gro Harlem (1987). *Vår felles framtid*. Tiden Norsk Forlag.
- Busch, Tor (2013). *Akademisk skriving*. Fagbokforlaget.
- Byggekunst (1965). *Siemens Norge AS, Trondheim*. nb. URL: <https://arkitektur-n.no/prosjekter/siemens-norge-as-trondheim?cat=21>.
- Creswell, John W. (2014). *Research Design - Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*.
- Dalland, Olav (2017). *Metode og oppgaveskriving*. Bd. 6. Gyldendal.
- EU-delegasjonen (2015). *EUs handlingsplan for en sirkulær økonomi*. Rapport. URL: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/eus-handlingsplan-for-en-sirkular-okonomi/id2465510/> (sjekket 19.05.2021).
- Deloitte (2020). *Kunnskapsgrunnlag for nasjonal strategi for sirkulær økonomi - Oppsummerende rapport*.
- Direktoratet for byggkvalitet (2015). *Nye energikrav til bygg*. URL: <https://dibk.no/regelverk/horinger/hoyringar/horing-nye-energikrav-til-bygg/> (sjekket 20.03.2021).
- (2017). *Byggteknisk forskrift (TEK17)*.

- Direktoratet for byggkvalitet (2018). *Ombruk av byggevarer – hvilke krav må oppfylles?* URL: <https://dibk.no/verktoy-og-veivisere/energi/ombruk-av-byggevarer--hvilke-krav-ma-oppfylles/> (sjekket 15.03.2021).
- (udatert). *Forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK)*.
- Enova (2017). *Enovas byggstatistikk*.
- FutureBuilt (2014). *Powerhouse Kjørbo*. Bærum.
- (2020). *FutureBuilt kriterier for sirkulære bygg v2*.
- Grønn Byggallianse (2019). *Tenk deg om før du river*.
- Hagen, Anette (2019). *Nå skal politikerne ta stilling til riving av Siemensblokka*. URL: <https://bydelsnytt.no/2019/09/19/bygningsradet-skal-ta-stilling-til-riving-av-siemensblokka/> (sjekket 10.03.2021).
- Høiby, Linda og Sand, Henrik (2018). *Circular Economy in the Nordic Construction Sector*. TemaNord. Nordic Council of Ministers.
- Høydahl, Vilde Vår og Walter, Hanna Katarina (2020). *Ombruk av byggematerialer og -produkter i et bærekraftsperspektiv*.
- IPCC (2018). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*.
- IRP (2020). *Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future*. Nairobi: International Resource Panel, United Nations Environment Programme.
- Kilvær, Lasse mfl. (2019). *Forsvarlig ombruk av byggevarer - Deloppgave 1: Litteraturstudie*. Direktoratet for Byggkvalitet (DiBK).
- Klima- og miljødepartementet (2016). *Meld. St. 45 (2016-2017) - Avfall som ressurs – avfallspolitikk og sirkulær økonomi*.
- Kommunal- og moderniseringsdepartementet (2021). *Nå blir det enklere å bruke brukte byggematerialer om igjen*. Pressemelding. URL: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/na-bli-det-enklere-a-bruke-brukte-byggematerialer-om-igjen/id2828497/> (sjekket 25.02.2021).
- Larsen, Hogne Nersund (2019). *Bygg- og anleggssektorens klimagassutslipp*.
- Leaman, Adrian og Bordass, Bill (1999). “Productivity in buildings: the ‘killer’ variables”. I: *Building Research & Information* 27.1, s. 4–19.
- Leland, Benthe Nuth (2004). “Gjenbruk og ombruk i byggebransjen”. I: *Plan* 36.1, s. 12–15. URL: [https://www.idunn.no/plan/2004/01/gjenbruk\\_og\\_ombruk\\_i\\_byggebransjen](https://www.idunn.no/plan/2004/01/gjenbruk_og_ombruk_i_byggebransjen) (sjekket 10.03.2021).
- (2008). *Prosjektering for ombruk og gjenvinning*.
- Madaster (2021). *Material passport*. URL: <https://madaster.com/material-passport/> (sjekket 04.03.2021).



- Merrild, Heidi, Jensen, Kasper Gulager og Sommer, John (2018). *Building a Circular Future*. 3. utg. Danmark: GXN.
- Miljødirektoratet (2018). *Hovedbudskap fra rapporten om 1,5°C*.
- (2020a). *Klima - Norges miljømål*. URL: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/miljomal/klima/> (sjekket 17.11.2020).
  - (2020b). *Klimagassutslipp fra oppvarming av bygg - Miljøstatus for Norge*. URL: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/klimagassutslipp-fra-oppvarming-av-bygg/> (sjekket 29.01.2021).
  - (2020c). *Sirkulær økonomi*. URL: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/avfall/sirkular-okonomi/> (sjekket 12.12.2020).
- Mohammad, Kazhal (2016). *Rehabilitering av eldre betongbygg*.
- Moum, Anita, Skaar, Christofer og Midthun, Kjetil (2017). *Sirkulær økonomi i morgendagens byggenæring*.
- Naber, Nanda (2012). *Reuse of hollow core slabs from office buildings to residential buildings*.
- Nappen, Brit (2019). *Implementering av sirkulærøkonomi i byggeprosessen*. NTNU.
- NFFA (2021). *Hva gjør avfall farlig?* no. URL: <https://www.nffa.no/veiledningsmaterieill/bestill-hva-gjoer-avfall-farlig> (sjekket 21.05.2021).
- Nordby, Anne Sigrid (2009). “Salvageability of building materials: Reasons, criteria and consequences regarding architectural design that facilitate reuse and recycling”. Ph.d.-avh. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Fakultet for arkitektur og billedkunst, Institutt for byggekunst, historie og teknologi.
- (2018). *Utredning av barrierer og muligheter for ombruk av byggematerialer og tekniske installasjoner i bygg*. Asplan Viak.
- Nordby, Anne Sigrid, Lunke, Randi og Andersen, Rune (jan. 2021). *Erfaringsrapport ombruk - Kristian Augusts gate 13*.
- Nordby, Anne Sigrid og Wærner, Eirik Rudi (2017). *Hvordan planlegge for mindre avfall*. (Sjekket 16.12.2020).
- NVE (2019). *Energibruk i bygg*. URL: <https://www.nve.no/energibruk-effektivisering-og-teknologier/energibruk/energibruk-i-bygg/?ref=mainmenu> (sjekket 29.01.2021).
- Olsson, Nils (2014). *Praktisk rapportskrivning*. Fagbokforlaget.
- Regjeringen (2006). *Rammedirektivet for avfall*.
- (2019). *Granavolden-plattformen*. URL: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/politisk-plattform/id2626036/> (sjekket 13.12.2020).
  - (2020). *Klimaforliket*. Redaksjonellartikkel. URL: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/klimaforliket/id2076645/> (sjekket 17.11.2020).

- FN-sambandet (2019a). *Konvensjon om biologisk mangfold*. URL: <https://www.fn.no/om-fn/avtaler/miljoe-og-klima/konvensjon-om-biologisk-mangfold> (sjekket 11.11.2020).
- (2019b). *Kyotoprotokollen*. URL: <https://www.fn.no/om-fn/avtaler/miljoe-og-klima/kyotoprotokollen> (sjekket 08.11.2020).
- (2020a). *FNs bærekraftsmål*. URL: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal> (sjekket 11.11.2020).
- (2020b). *Parisavtalen*. URL: <https://www.fn.no/om-fn/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen> (sjekket 08.11.2020).
- (2020c). *Verdens dag for å bekjempe ørkenspredning og tørke*. URL: <https://www.fn.no/om-fn/fn-dager/kalender/verdens-dag-for-aa-bekjempe-oerkenspredning-og-toerke> (sjekket 11.11.2020).
- Samset, Knut (2008). *Prosjekt i tidligfasen*. Tapir Akademisk Forlag.
- Sellæg, Arne (2019). *Utskjelt bygg får ansiktsløft*.
- SINTEF (2020). *Betong er en del av klimaløsningen*. URL: <https://www.sintef.no/siste-nytt/-betong-er-en-del-av-klimalosningen/> (sjekket 18.12.2020).
- SINTEF Byggforsk (1995). *612.011 Stilarter i arkitekturen etter 1945*.
- (2001). *421.621 Metoder for distribusjon av dagslys i bygninger*.
- (2004a). *344.110 Tilpasningsdyktige kontorbygninger*.
- (2004b). *700.307 Definisjoner, etablering og bruk av levetidsdata for bygg og bygningsdeler*.
- (2015). *572.111 Resirkulert tilslag av tegl og betong*.
- (2017). *700.320 Intervaller for vedlikehold og utskifting av bygningsdeler*.
- Skårdal, Vegard og Strand, Erlend Sjølie (2010). *Gjenbruk av eksisterende industribygninger - Illustrert ved to casebygninger*.
- Standard Norge (2008). *NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008 - Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner - Del 1-1: Allmenne regler for bygninger*.
- (2019). *NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2019 - Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-1: Allmenne laster - Tetthet, egenvekt, nyttelaster i bygninger*.
- Statistisk sentralbyrå (2020a). *Avfall fra byggeaktivitet*. URL: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/avfbyggnl/aar/2020-04-03> (sjekket 15.12.2020).
- (2020b). *Avfallsregnskapet*. URL: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/avfregno/aar/2020-04-02> (sjekket 15.12.2020).
- Statsbygg (2002a). *Designstrategi for bruk av gjenbruksmaterialer*.
- (2002b). *Gjenbruk i byggebransjen - State of Art*.
- Steel Construction Institute (2019). *Protocol for reusing structural steel*.

- Syltern, Line Gjerde (2019). *Tempeveien 22 - Nye MAXbygget, Nytt liv i gamle bygg gir bærekraftig byutvikling*. URL: [https://www.entro.no/wp-content/uploads/2019/08/nytt\\_liv\\_i\\_gamle\\_bygg\\_Line\\_Syltern\\_KLP.pdf](https://www.entro.no/wp-content/uploads/2019/08/nytt_liv_i_gamle_bygg_Line_Syltern_KLP.pdf) (sjekket 15.04.2021).
- Sørnes, Kari mfl. (2014). *Anbefalinger ved ombruk av byggematerialer*. SINTEF.
- THEMA Consulting Group (2013). *Energibruk i kontorbygg*. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Thue, Jan Vincent (2016). *Bygningsfysikk*.
- UNEP (2020). *2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector*. Nairobi: United Nations Environment Programme.
- Valde, Eirik, Ottesen, Mirja Emilia og Wormstrand, Eirik (2018). *Kartlegging av materialstrømmer fra små og mellomstore bygge-, rive- og rehabiliteringsprosjekter*. Nomiko AS.
- Widenoja, Eva, Myhre, Kjetil og Kilvær, Lasse (2018). *Ombruk av stål og tilknyttede byggematerialer*.
- WikiStrinda (2020). *Siemensblokka*. URL: <https://www.strindahistorielag.no/wiki/index.php/Siemensblokka> (sjekket 10.03.2021).



## A Søketreffstatistikk

### A.1 Statistikk for databasesøk

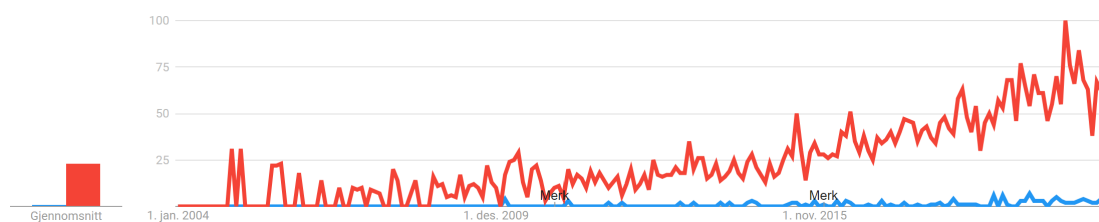
Tabell A.1: Antall treff i aktuelle databaser for utvalgte søkeord.

Søkeord	Google Scholar	Science Direct	Oria	NTNU Open
<b>Ombruk</b>	364	-	31	62
AND byggebransjen	89	-	3	36
AND riving	54	-	1	35
AND bygningsdeler	76	-	2	30
AND byggematerialer	93	-	7	22
AND byggematerialer AND "sirkulær økonomi"	41	-	0	7
AND "bygg- og anleggsbransjen"	36	-	0	31
AND "selektiv riving"	14	-	1	1
AND sirkulærøkonomi	33	-	0	6
AND "sirkulær økonomi"	65	-	2	9
AND "sirkulær økonomi" AND byggebransjen	17	-	0	6
<b>Gjenbruk</b>	-	-	-	-
AND byggebransjen	321	-	7	142
AND byggematerialer	273	-	84	104
AND bygningsmaterialer	192	-	13	84
<b>Kontorbygg</b>	-	-	-	-
AND ombygging	464	-	7	102
AND rehabilitering	397	-	9	133
AND rehabilitering AND ombruk	39	-	0	14
<b>Sirkulær økonomi</b>	-	-	-	-
AND byggebransjen	36	-	0	9
<b>"Reuse of building materials"</b>	1210	193	501	13
<b>"Circular economy"</b>	-	-	-	-
AND "building industry"	2220	211	400	11
<b>"Building deconstruction"</b>	1100	79	279	1
<b>"Selective dismantling"</b>	-	-	-	-
AND building	398	66	50	5
AND building AND reuse	301	48	28	5

## A.2 Søkstrender



Figur A.1: Søkstrend for ombruk



Figur A.2: Søkstrend for ombruk sammenlignet med gjenbruk

