



Research Centre on  
ZERO EMISSION  
NEIGHBOURHOODS  
IN SMART CITIES



# SIRKULÆRE LØSNINGER I BYGGEBRANSJEN: KUNNSKAPSTATUS

ZEN MEMO No. 53 – 2024



Roberta Moschetti, Marianne Kjendseth Wiik og Christofer Skaar /SINTEF, Asplan Viak



Research Centre on  
ZERO EMISSION  
NEIGHBOURHOODS  
IN SMART CITIES

### **ZEN MEMO No. 53**

Roberta Moschetti (SINTEF Community), Marianne Kjendseth Wiik (SINTEF Community)  
og Christofer Skaar (Asplan Viak)

### **Sirkulære løsninger i byggebransjen: kunnskapsstatus**

Norwegian University of Science and Technology (NTNU) | [www.ntnu.no](http://www.ntnu.no)  
SINTEF Community | [www.sintef.no](http://www.sintef.no)

<https://fmezen.no>

## Preface

### Acknowledgements

This report has been written within the Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities (FME ZEN). The authors gratefully acknowledge the support from the Research Council of Norway, the Norwegian University of Science and Technology (NTNU), SINTEF, the municipalities of Oslo, Bergen, Trondheim, Bodø, Bærum, Elverum and Steinkjer, Trøndelag county, Norwegian Directorate for Public Construction and Property Management, Norwegian Water Resources and Energy Directorate, Norwegian Building Authority, ByBo, Elverum Tomteselskap, TOBB, Snøhetta, AFRY, Asplan Viak, Multiconsult, Civitas, FutureBuilt, Heidelberg Materials, Skanska, GK, NTE, Smart Grid Services Cluster, Statkraft Varme, Fornybar Norge and Norsk Fjernvarme.

### The Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods (ZEN) in Smart Cities

The ZEN Research Centre develops solutions for future buildings and neighbourhoods with no greenhouse gas emissions and thereby contributes to a low-carbon society.

Researchers, municipalities, industry and governmental organizations work together in the ZEN Research Centre to plan, develop and run neighbourhoods with net zero greenhouse gas emissions over their lifetime. The ZEN Centre has nine pilot projects spread over all of Norway that encompass an area of more than 1 million m<sup>2</sup> and more than 30,000 inhabitants in total.

To achieve its high ambitions, the Centre will, together with its partners:

- Develop neighbourhood design and planning instruments while integrating science-based knowledge on greenhouse gas emissions;
- Create new business models, roles, and services that address the lack of flexibility towards markets and catalyze the development of innovations for broader public use; This includes studies of political instruments and market design;
- Create cost-effective and resource and energy-efficient buildings by developing low-carbon technologies and construction systems based on lifecycle design strategies;
- Develop technologies and solutions for the design and operation of energy-flexible neighbourhoods;
- Develop a decision-support tool for optimizing local energy systems and their interaction with the larger system;
- Create and manage a series of neighbourhood-scale living labs, which will act as innovation hubs and a testing ground for the solutions developed in the ZEN Research Centre. The pilot projects are Furuset in Oslo, Fornebu in Bærum, Sluppen and Campus NTNU in Trondheim, Mære agricultural school, Ydalir in Elverum, Campus Evenstad, NyBy- NyFlypass Bodø, and Zero Village Bergen.

The ZEN Research Centre will last eight years (2017-2024), and the budget is approximately NOK 380 million, funded by the Research Council of Norway, the research partners NTNU and SINTEF, and the user partners from the private and public sectors. The Norwegian University of Science and Technology (NTNU) is the host and leads the Centre together with SINTEF.



<https://fmezen.no>



@ZENcentre



FME ZEN (page)

## **Sammendrag**

Dette notatet inkluderer kunnskapsstatus om sirkulære løsninger i byggsektoren, med særlig fokus på endringsdyktighet og ombrukbarhet i nye og eksisterende bygninger. En litteraturgjennomgang av de ovennevnte begrepene er oppsummert, der vitenskapelige artikler og nasjonale rapporter er gjennomgått, inkludert de som er skrevet av SINTEF i forbindelse med forskningsprosjekter eller innenfor FME ZEN Research Centre, samt BREEAM-NOR-kriteriene for nybygg og FutureBuilt-kriteriene for sirkulære bygg. Eksempelprosjekter, i nasjonal og internasjonal sammenheng, presenteres også i notatet. Evalueringmetoder og hovedprinsipper for tilpasningsdyktighet samt ombrukbarhet i bygninger er også vurdert og oppsummert i notatet.

## **Abstract**

This memo includes the status of knowledge about circular solutions in the building sector, with a specific focus on adaptability and reusability in new and existing buildings. A literature review of the above-mentioned terms is summarized, covering scientific articles and national reports, including those written by SINTEF in connection with research projects or within the FME ZEN Research Centre. The BREEAM-NOR criteria for new buildings and the FutureBuilt criteria for circular buildings were also examined. Example projects, both national and international, are also presented. Evaluation methods and main principles for adaptability as well as reusability in buildings are assessed and summarized in the memo.

# Innhold

1.	Introduksjon.....	7
1.1	Bakgrunn.....	7
1.2	Avgrensing av tema .....	7
2	Begreper og definisjoner .....	7
3	Sirkularitet i byggebransjen.....	9
4	Litteraturgjennomgang .....	13
4.1	Endringsdyktighet i bygninger.....	13
4.1.1	Eksempler.....	17
4.1.2	Hovedprinsipper .....	20
4.1.3	Oppsummering av mulige evalueringsmetoder på bygningsnivå.....	22
4.2	Ombbrukbarhet og gjenbrukbarhet i bygninger.....	25
4.2.1	Hovedprinsipper .....	27
4.2.2	Oppsummering av mulige evalueringsmetoder på komponentnivå .....	28
5.	Konklusjon .....	31
	Referanser.....	32

## 1. Introduksjon

### 1.1 Bakgrunn

Sirkulære løsninger som endringsdyktighet, ombrukbarhet og gjenbrukbarhet er strategier som kan forlenge levetiden til eksisterende bygg. Hvert år rives det ca. 13 000 bygninger i Norge, noe som genererte ca. 1 820 000 tonn bygge- og riveavfall i 2021 (Statistisk sentralbyrå, 2023a, 2023b, 2023c, 2023d, 2023e). Av dette er ca. 47% tegl og betong, 14% blandet avfall, 13% treavfall, 10% asfalt, 5% metall, 4% gips, 4% farlig avfall og 1% hver på papir og papp, plast, glass og annet avfall.

Memoet forsøker å svare på følgende spørsmål knyttet til sirkularitet i byggebransjen: Hva er erfaringene fra historien med tanke på endringsdyktighet, ombrukbarhet og gjenbrukbarhet? Hvilke løsninger og valg gir endringsdyktighet, ombrukbarhet, gjenbrukbarhet i bygninger og/eller i deler av en bygning? Hvilke evalueringsmetoder finnes det for sirkulære løsninger?

### 1.2 Avgrensning av tema

Dette memoet har fokus på kunnskapsstatus for sirkulære løsninger i bygningsbransjen, med spesielt fokus på endringsdyktighet, ombruk og gjenbruk i nye og eksisterende bygg.

## 2 Begreper og definisjoner

Tabellen nedenfor samler de alle viktigste begrepene relatert til sirkularitet i byggebransjen.

Begrep	Definisjon	Engelsk
<b>Endringsdyktighet</b>	Samlebegrep for bygg som kan endre funksjon og bruk uten store materielle inngrep. Dette innebærer generalitet, fleksibilitet og elastisitet som hovedstrategier. (Grønn Byggallianse, 2022)	<b>Changeability/Adaptability</b>
<b>Tilpassningsdyktighet</b>	Synonym til endringsdyktighet i dette notatet.	<b>Changeability/Adaptability</b>
<b>Fleksibilitet</b>	Evnen til å omorganisere bruksarealet til et bygg uavhengig av bæresystem, vertikale kjerner og tekniske systemer. Dette medfører f.eks. tilrettelegging for flytting av ikke-bærende vegger og energioppgradering av klimaskjerm. (Grønn Byggallianse, 2022)	<b>Flexibility</b>
<b>Generalitet</b>	Egenskapen som gir frihet til å endre en funksjon uten store inngrep og kostnader, og avhenger blant annet av dagslystilgang, etasjehøyder og kommunikasjonsprinsipper. (Grønn Byggallianse, 2022)	<b>Convertibility</b>
<b>Elastisitet</b>	Evnen et bygg har til å endre seg med utviding eller redusering av arealet innenfor en gitt geometri, f.eks. mulighet for seksjonering, tilbygg og påbygg. (Grønn Byggallianse, 2022)	<b>Expandability</b>
<b>Avfallspyramiden (Avfallshierarki)</b>	Et hierarki som gjengir en prioritert rekkefølge for avfallshåndtering. Avfallshierarkiet har forebygging som høyeste prioritet, deretter tilrettelegging for ombruk, materialgjenvinning, annen gjenvinning inkludert energiutnyttelse og til slutt sluttbehandling. (Miljøverndepartementet, 2013)	<b>Waste pyramid (waste hierarchy)</b>

Begrep	Definisjon	Engelsk
	<p><b>Avfallsforebygging</b> • Hindre at avfall oppstår</p> <p><b>Ombruk</b> • Bruke gjenstander om igjen</p> <p><b>Materialgjenvinning</b> • Bruke materialer fra avfall til å lage nye produkter</p> <p><b>Energiutnyttelse</b> • Brenne med energiutnyttelse</p> <p><b>Sluttbehandling</b> • Brenne uten energiutnyttelse • Legge på avfallsdeponi</p> <p>KILDE: Klima- og forurensningsdirektoratet, 2013 / miljøstatus.no</p>	
<b>Avfallsforebygging</b>	Avfallsforebygging innebærer å hindre at det oppstår avfall eller å lage produkter slik at de blir mindre miljøskadelige når de blir avfall. (Miljøverndepartementet, 2013)	<b>Waste prevention</b>
<b>Ombruk</b>	Ved ombruk benytter man brukte komponenter i bygninger på nytt, uten grunnleggende endringer. Det regnes fortsatt som ombruk hvis bygningskomponentene rengjøres, repareres, kappes, tilpasses eller overflatebehandles før de brukes på nytt. (SINTEF Community, 2023)	<b>Reuse</b>
<b>Gjenbruk</b>	Gjenbruk brukes ofte som en samlebetegnelse som omfatter rehabilitering, ombruk og materialgjenvinning. (SINTEF Community, 2023)	<b>Reuse</b>
<b>Materialgjenvinning</b>	Utnyttelse av materialene i avfall som råvare for framstilling av nye produkter (SINTEF Community, 2023)	<b>Material recycling</b>
<b>Energiutnyttelse</b>	Forbrenning av avfall eller restavfall med utnyttelse av den frigjorte varmeenergien til produksjon av nyttbar varme, for eksempel fjernvarme, eller elektrisitet. (SINTEF Community, 2023)	<b>Energy recovery</b>
<b>Sluttbehandling</b>	Sluttbehandling utgjør både forbrenning uten energiutnyttelse og avfallsdeponering. (Miljøverndepartementet, 2013)	<b>Final processing / final treatment</b>
<b>Ombrukbarhet</b>	Omfatter bygningselementer og konstruksjoner som er tilrettelagt for demontering og framtidig ombruk (Nordby et al., 2023)	<b>Reusability</b>
<b>Gjenbrukbarhet</b>	Nyttiggjøring av komponenter og materialer ved ombruk eller materialgjenvinning. (Nordby, 2009)	<b>Reusability</b>
<b>Motstandsdyktighet</b>	Evne til å motstå forstyrrelser og til å omorganiseres etter endringer samtidig som funksjon, struktur og identitet beholdes.	<b>Resilience</b>
<b>Renovering</b>	Bygningsmessige tiltak i et så stort omfang at bygningen framstår som ny. (Enova SF, 2015)	<b>Renovation</b>
<b>Rehabilitering</b>	Utbedring hvor det tas sikte på å istandsette til opprinnelig standard eller funksjonalitet (Enova SF, 2015)	<b>Rehabilitation</b>
<b>Oppgradering</b>	Rehabilitering som også innebærer en vesentlig forbedring i bygningens generelle funksjon eller ytelse. Mer spesifikt, en vesentlig forbedring i bygningens energiytelse kalles en "energioppgradering". (Enova SF, 2015)	<b>Upgrading</b>
<b>Vugge-til-vugge</b>	Biomimetisk tilnærming til designet som innebærer at råmaterialer gjøres om til produkter som kan bearbeides etter original bruk og kan bli verdifulle næringsstoffer med sin opprinnelige kvalitet. (McDonough and Braungart, 2002)	<b>Cradle-to-Cradle (C2C)</b>
<b>Design-for-Demontering</b>	Metodisk tilnærming til produktdesign som tilrettelegger for demontering ved slutten av levetiden, på en slik måte at komponenter og deler kan gjenbrukes, resirkuleres, utvinnes for	<b>Design-for-Disassembly/ Deconstruction (DfD)</b>



Begrep	Definisjon	Engelsk
	energi eller på annen måte ledes bort fra avfallsstrømmen. (International Organization for Standardization (ISO), 2020)	
<b>Design-for-Adaptability</b>	Metodisk tilnærming til utformingen av et produkt som betrakter muligheten for produktet til å endres eller modifiseres for å gjøre den egnet for et bestemt formål. (International Organization for Standardization (ISO), 2020)	<b>Design-for-Adaptability (DfA)</b>

### 3 Sirkularitet i byggebransjen

Sirkulære bygninger bruker prinsippene fra sirkulær økonomi ved å videreutvikle end-of-life-konseptet og planlegge for framtidig ombygging og demontering av bygg, samt for gjenbruk, resirkulering og gjenvinning av materialer. Sirkulære løsninger i bygg vil kunne bidra til reduksjon av klimagassutslipp og i ressursforbruk. Ombruk av materialer er for eksempel et vesentlig tiltak for å holde klimagassfotavtrykket lavt. Noen sirkulære løsninger kan føre til kostnadsreduksjoner både i investering (færre kvadratmeter nybygg) og i drift (reduisert innkjøp av brukerstyr), mens andre løsninger vil kunne øke kostnadene - spesielt hvis ikke det planlegges godt og i god tid, og hvis det er behov for å utvikle nye løsninger.

Sirkulære løsninger for bygninger og infrastruktur berører alle aktører i byggenæringen og berører verdikjeder, lovverk og reguleringer. Det er et systemskifte, et nytt paradigme, å implementere sirkulære løsninger. EU-taksonomien (European Commission, 2021) tar hensyn til sirkulære prinsipper i bygninger. Hovedkriteriene for bygging av nye bygninger inkluderer blant annet:

- 1) Minst 70% (i vekt) av det ufarlige bygge- og riveavfallet som skapes på byggeplassen, må klargjøres for gjenbruk, resirkulering og annen materialgjenvinning. Operatører begrenser avfallsgenerering i bygg- og riveprosesser i samsvar med EUs protokoll for håndtering av bygge- og riveavfall.
- 2) Bygningsdesign og konstruksjonsteknikker gjør sirkularitet mulig (f.eks. med referanse til Level(s) indikatorer 2.3 (design-for-adaptability) og 2.4 (design-for-deconstruction), iht. ISO 20887 (International Organization for Standardization (ISO), 2020).
- 3) Bygningskomponenter og materialer som brukes i konstruksjonen er i samsvar med EUs regelverk for farlige stoffer (REACH - Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals). Bygningskomponenter og -materialer som brukes i konstruksjonen og som kan komme i kontakt med beboere er lavemitterende formaldehyd og kreftfremkallende VOC (Volatile Organic Compounds).

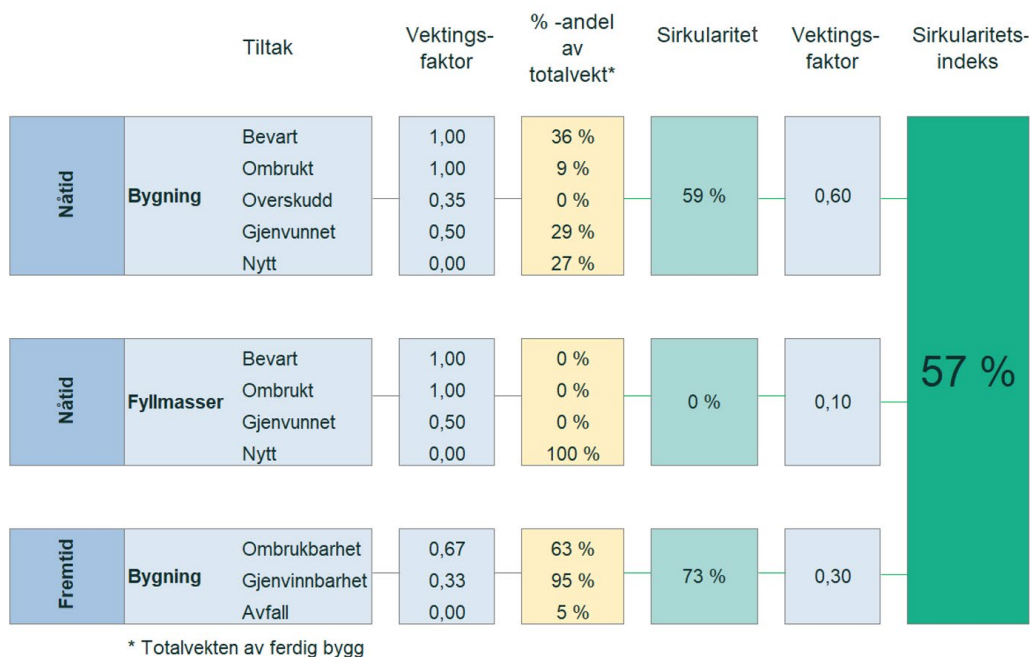
Alle EU-taksonomikriteriene for nybygg er angitt i vedlegg I til EUs taksonomiforordning (European Commission, 2021). BREEAM-NOR (Grønn Byggallianse, 2022) er tilpasset taksonomivedlegg I og kan benyttes for å vise samsvar med taksonomiens krav uansett klassifiseringsnivå. Tabell 1 viser en oversikt over hvilke emner og kriterier som må oppfylles for at taksonomien skal være oppfylt. Et BREEAM-NOR-sertifisert bygg vil imidlertid ikke automatisk oppfylle kriteriene i taksonomien, fordi prosjekter selv bestemmer hvilke kriterier de ønsker å oppfylle.

**Tabell 1 Minimumskrav for nybygg angitt i EU-taksonomien sammenlignet med BREEAM-NOR. Ene = Energy, Man = Management, LE = Land use and ecology, Wat = Water, Wst = Waste, Mat = Materials, Hea = Health and wellbeing. Source: Norwegian Green Building Council - Grønn Byggallianse, 2023**

<b>EUs taksonomi</b>	<b>Emne</b>	<b>Kriterium</b>
<b>Bidra vesentlig til å redusere klimaendringer</b>		
Bygningens primærenergibehov er minst 10 % lavere enn grenseverdien for Nearly Zero Energy Building (NZEB) identifisert i den nasjonale implementeringen av energidirektivet.	Ene 01	9 og 12
Bygninger større enn 5000 m <sup>2</sup> : ved ferdigstillelse gjennomgår bygningen testing for lufttetthet og en termografisk test, og ethvert avvik i ytelsesnivåene fastsatt i prosjekteringsfasen eller skader i klimaskallet legges frem for investorer og kunder	Ene 01	10
Bygninger større enn 5000 m <sup>2</sup> : global warming potential (GWP) for bygningen er beregnet for hvert steg i livsløpet og fremlagt for investorer og kunden etter ønske.	Man 01	2-3
<b>Ingen vesentlig skade - Do No Significant Harm principle (DNSH) kriterier</b>		
Tilpasning til klimaendringer. Risikoanalyse gjennomføres og rimelige tiltak basert på beste praksis og nyeste scenarier iverksettes.	LE 06	1-6
Dokumentere at byggets sanitærutstyr har lavt vannforbruk. Dette er dokumentert gjennom produktdatablad, bygningssertifisering eller produktsertifisering i EU.	Wat 01	2
Utvikle en plan for å unngå påvirkning fra byggeplassen med mål om å bevare vannkvaliteten og unngå vann/tørkestress. Risikoen identifiseres og adresseres med sikte på å oppnå god vanntilstand og godt økologisk potensiale.	Man 03 Lovkrav	5-6 7-9
Minst 70 vektprosent av ikke-farlig konstruksjons- og rivingsavfall generert på byggeplass er klargjort for ombruk, resirkulering og annet materialgjenvinning i henhold til avfallshierarkiet og EUs protokoll for håndtering av bygge- og rivningsavfall.	Wst 01 Mat 06	1 og 4 1-3
Operatører begrenser avfallsgenerering i bygg- og riveprosesser i samsvar med EUs protokoll for håndtering av bygge- og rivningsavfall. Man vurderer bruk av de beste tilgjengelige teknikker. Man bruker selektiv riving for å gjøre det mulig å fjerne og håndtere farlige stoffer på en sikker måte, gjøre gjenbruk enklere og sikre høykvalitets gjenvinning gjennom selektiv fjerning av materialer, ved bruk av tilgjengelige sorteringssystemer for bygge- og riveavfall.	Wst 01 Mat 06	1 og 4 1-3
Bygningsdesign og konstruksjonsteknikker gjør sirkularitet mulig. Det demonstreres spesielt, med referanse til ISO 20887 eller andre standarder for vurdering av demontering eller bygningers endringsdyktighet, hvordan de er utformet for å være mer ressurseffektive, endringsdyktige, fleksible og demonterbare for å gjøre gjenbruk og resirkulering mulig.	Mat 06 Mat 07	1-3 2-6
Bygningskomponenter og materialer som brukes i konstruksjonen er i samsvar med EUs regelverk for farlige stoffer (REACH).	Mat 02 Mat 07	1 2-6
Bygningskomponenter og -materialer som brukes i konstruksjonen og som kan komme i kontakt med brukere er lavemitterende mhp formaldehyd og kreftfremkallende VOC.	Hea 02	5
Der nybygget ligger på et potensielt forurensnet område (brownfield-tomt), har området vært gjenstand for en undersøkelse for potensielle forurensninger, for eksempel ved bruk av standard ISO 18400.	Lovkrav	–
Det iverksettes tiltak for å redusere støy, støv og forurensende utslipp under bygge- eller vedlikeholdsarbeid.	Man 03 Lovkrav	5-6
En miljøkonsekvensvurdering (EIA) eller screening er gjennomført. De nødvendige tiltakene for å beskytte miljøet er iverksatt.	LE 02 Lovkrav	2-4

EU's taksonomi	Emne	Kriterium
For utbyggingsområder lokalisert i eller i nærheten av forvaltningsprioriterte områder, er det foretatt en passende vurdering, der det er aktuelt, og basert på konklusjonene er nødvendige tiltak iverksatt.		
Bygget skal ikke være bygget på tomter som defineres som: a. Jordbruksareal eller dyrket mark b. Areal med identifisert høy biodiversitetsverdi eller habitat for truede arter c. Areal definert som skog	LE 01 LE 02 Lovkrav	2 2-4

FutureBuilt har nylig publisert en oppdatert versjon av kriteriene sine for sirkulære bygg. Oppdateringen introduserer FutureBuilt Sirkulær og en sirkularitetsindeks som gjør det mulig å tallfeste krav til sirkulære bygg etter FutureBuilt-metoden. Sirkularitetsindeksen er FutureBuilt's tallfestede mål på byggets sirkularitet, basert på andelen av bygget (i vekt-%) som er tilpasset definerte tiltak for sirkularitet i nåtid og framtid. FutureBuilt har utviklet et eget verktøy for å beregne dette, se eksempel i Figur 1.



Figur 1 Regneeksempel fra FutureBuilt's Sirkularitetsindeks verktøy. Kilde: Nordby et al., 2023

Byggeforskrifter viser til sirkularitet med hensyn til ombruk av byggevarer/bygg. Ombruk er nevnt i byggeteknisk forskrift (TEK) i kapittel 9 om Ytre miljø (§§ 9-5 – 9-9).

Bestemmelsen i § 9-5 fastsetter at det skal velges produkter som er egnet for ombruk og materialgjenvinning. Etter forskriftsendringen i 2022 skal byggverk i tillegg "prosjekteres og bygges slik at det er tilrettelagt for senere demontering når dette kan gjennomføres innenfor en praktisk og forsvarlig ramme". Dette innebærer at vurderinger om ombruk, gjenvinning og tilretteleggelse for demontering må fremgå av prosjekteringen.

Bestemmelsen i § 9-6 fastsetter hvilke tiltak som må ha avfallsplan, med grensen på 10 tonn avfall som også gjelder bygninger fra 2022 i tillegg til andre konstruksjoner og anlegg. Terskelen i § 9-6 avgjør om krav til kartlegging, avfallssortering og rapportering i § 9-7, 9-8 og 9-9 kommer til anvendelse.

Ifølge § 9-7 må det for søknadspliktige tiltak kartlegges om noen av bygningsfraksjonene som skal fjernes er egnet for ombruk. Det skal utarbeides en egen rapport fra ombrukskartleggingen. Et av minstekravene til rapporten er at den skal inneholde alle identifiserte materialer eller bygningsfraksjoner egnet for ombruk. Dette skal sammenstilles i tabell i henhold til NS 3451:2022 Bygningstabell og systemkodetabell for bygninger og tilhørende uteområder.

I § 9-8 er vektprosenten for sortering- og leveringspliktig mengde avfall angitt (økt fra 60% til 70% i juli 2022). I tillegg er det gjort mulig å levere avfallet til ombruk og ikke kun til gjenvinning eller avfallsmottak. Ombruk er også inkludert som et aktuelt leveringssted ved utarbeidelse av sluttrapport om disponering av avfall etter § 9-9.

Ombrukskartlegging er også omtalt i Byggforskserien 700.803 (SINTEF Community, 2023) som omhandler ombrukskartlegging av bygningskomponenter i forbindelse med riving eller rehabilitering av bygninger. Anvisningen gir råd om: vurdering av egnethet for ombruk under kartleggingen; punkter som bør avklares før kartleggingen; forberedelse til og gjennomføring av en ombrukskartlegging; rapportering fra ombrukskartleggingen.

Når det gjelder byggesaksforskriften (SAK), er ombruk nevnt i § 12-2 der det sies at ansvarlig søkers ansvar er *"å påse at det blir utarbeidet avfallsplan, rapport fra miljøkartlegging, rapport fra ombrukskartlegging, sluttrapport for avfallshåndtering og innhentet dokumentasjon for faktisk disponering av avfall"*. Noen endringer ble vedtatt i 2022 i krav til dokumentasjon. Etter endring av § 5-5 må dokumentasjon på oppfyllelse av krav i TEK som er gjennomgått over foreligger i tiltaket og være tilgjengelig ved tilsyn. Hvis det kreves avfallsplan eller rapport om miljøkartlegging etter TEK § 9-6 og 9-7 skal sluttrapport som dokumenterer faktisk disponering av avfallet vedlegges med søknad om ferdigattest.

Byggevareforskriften (DOK) henviser til ombruk i kapittel III om krav til byggevarer som ikke er CE-merket, med formålet om å gjøre det enklere å omsette brukte byggevarer. Der stilles det i utgangspunktet strenge krav til dokumentasjon før en byggevare kan markedsføres, selges eller brukes. Etter endringen i 2022 gjelder ikke kapittelet for byggevarer som tas ut av byggverk, byggevarer som det ikke er foretatt vesentlige endringer av og byggevarer som skal brukes på nytt i et byggverk.

Kravet til dokumentasjon gjelder likevel hvis byggevaren som skal ombrukes endres vesentlig. Direktoratet for Byggkvalitet har utarbeidet en veileder som kan bidra til avklaring om hva 'vesentlig endring' betyr (Direktoratet for byggkvalitet, 2021). Imidlertid må ombrukte byggematerialer fortsatt oppfylle de tekniske spesifikasjonene som er beskrevet i Teknisk forskrift (TEK), og egenskapene til byggematerialene må dokumenteres i samsvar med § 3-1 i TEK.

## 4 Litteraturgjennomgang

Kunnskapsgrunnlaget i dette memoet baserer seg på litteraturgjennomgang om endringsdyktighet, ombrukbarhet og gjenbrukbarhet i bygninger, der tre hovedkilder er brukt:

1. Vitenskapelige artikler søkt i Scopus og Google Scholar.
2. Nasjonale rapporter og notater, inkludert de som ble skrevet av SINTEF i forbindelse med forskningsprosjekter eller innenfor Forskningscenteret for nullutslippsområder (FME ZEN).
3. Nasjonale erfaringsrapporter fra entreprenører og byggherrer, slik som Entra og Statsbygg.

### 4.1 Endringsdyktighet i bygninger

Internasjonalt finnes det flere vitenskapelige artikler om endringsdyktighet i bygninger.

Brand, 1995 har i boken *How Buildings Learn* fokusert på bygningers utvikling og hvordan bygninger tilpasser seg endrede krav over lange perioder. Han skriver at den store utfordringen med bygg-programmering er at den i for stor grad svarer på de umiddelbare behovene til de umiddelbare brukerne, og utelater fremtidige brukere, noe som gjør bygningen optimal for de første brukerne og dårlig tilpasset for fremtiden. Brand, 1995 skriver at det er en universell regel at alle bygninger vokser, og hvis de er omfattet av regler som hindrer vekst i høyden eller i frontfasaden, vil bygninger vokse mot baksiden eller ned under bakken.

Russell and Moffatt, 2001 har i en International Energy Agency (IEA) Annex 31 – 'Energy related environmental impact of buildings' rapport satt søkelys på vurdering av bygninger for endringsdyktighet. De skriver at "adaptability" kan ikke lett vurderes, og at det var en generell mangel på gamle eksisterende bygninger som har blitt designet med tanke på endringsevne. Dette er fordi det er vanskelig å forutsi fremtidens krav til bygninger. Men det bør være mulig å betydelig forbedre miljøytelsen til bygninger på minst tre måter: mer effektiv bruk av bygningsareal; økt levetid, og forbedret drift.

Blakstad, 2001 har i sin Dr.-ingeniøravhandling fokusert på å beskrive og videreutvikle kunnskap om hvordan en bedre endringsdyktighet i kontorbygg kan oppnås. Hovedresultatene fra avhandlingen har vært utviklingen av en ny strategisk tilnæringsmåte med kunnskap om endringer i bygg-bruker forholdet, samt beskrivelse av en iterativ beslutningsprosess og utvalgte verktøy som kan brukes i tilknytning. Noen case er også presentert i avhandlingen, slik som Dagbladets prosjekt, dvs. ombygging av Dagbladets bygningskompleks i Akersgata i Oslo (Figur 2), med flere bygninger av ulik alder og tilstand. Hovedfokus i dette prosjektet var på en lag- og fasedelt ombyggingsprosess, med betydelig brukermedvirkning og med økt anledning for fremtidig endring som en av hovedmålsetningene.



**Figur 2** Dagbladet, en Oslo-basert dagsavis. Kilde: Blakstad, 2001.

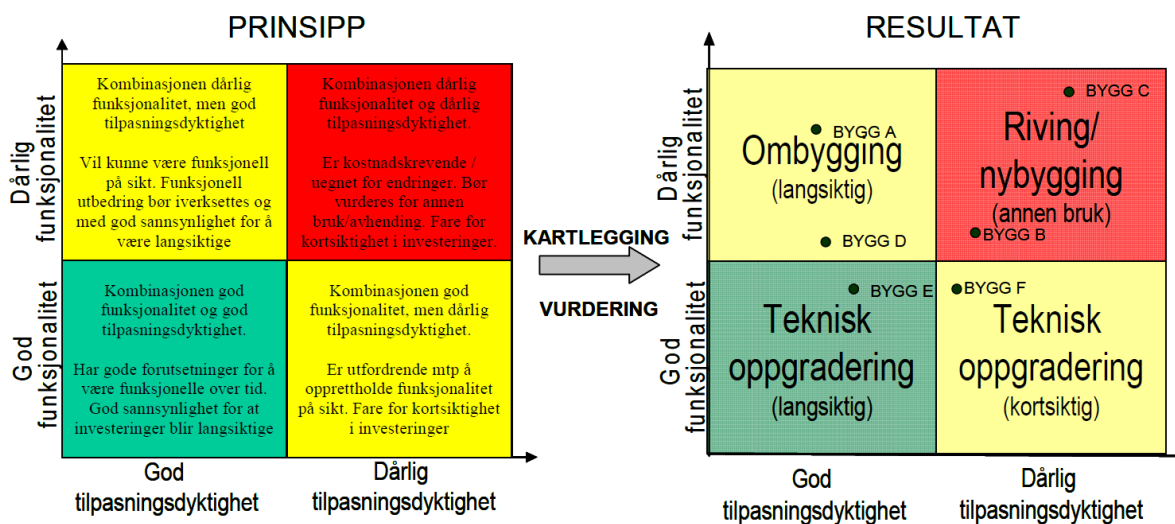
Endringsdyktig bygningsdesign er ofte tilknyttet såkalt Cradle-to-Cradle (C2C) design som ble fremhevet av McDonough and Braungart, 2002 hovedsakelig i USA med sikte på en radikal endring i industrien: en overgang fra et vugge-til-grav-mønster til et vugge-til-vugge-mønster. De antyder at metodene "reduser, gjenbruk og resirkulering" opprettholder vugge-til-grav-strategien og derfor må flere endringer gjøres.

I to prosjektrapporter fra SINTEF Byggforsk (Arge and Landstad, 2002 og Arge, 2003), ble konkrete bygningsmessige og tekniske tiltak gjennomgått, med hensyn på endringsdyktighet i kontorbygninger, og miljømessige og økonomiske konsekvenser av tiltakene ble vurdert. Endringsdyktige bygninger er definert som miljøriktige bygninger fordi de krever mindre ressurser for å tilpasse seg til nye brukerbehov siden de er tilrettelagt for endring. Rapportene undersøker hva slags tiltak utvalgte norske byggeiere og eiendomsutviklere har valgt å iverksette i et spesifikt kontorbygning, med hensyn til endringsdyktighet.

I en bok av Schneider og Till, 2007 er 'flexible housing' analysert, og det er et forsøk på å dekke spørsmål om både endringsevne og fleksibilitet. Disse to begrepene er noen ganger brukt om hverandre. Det sies at endringsevne oppnås gjennom å designe rom eller enheter slik at de kan brukes på en rekke måter, først og fremst gjennom måten rom er organisert på. Fleksibilitet derimot, oppnås ved å endre bygningen fysisk og gjelder altså både interne og eksterne endringer, og til både midlertidige endringer (gjennom muligheten til å skyve en vegg eller dør) og permanente endringer (ved å flytte en intern skillevegg eller yttervegg).

Nuth Leland, 2008 skrev en veileder for Rådgivende Ingeniørers Forening (RIF) om prosjektering for ombruk og gjenvinning, der hovedmålet var å inspirere aktuelle aktører til å prosjektere bygninger med tanke på endringsdyktighet og gjenbruk. Endringsdyktige bygninger er i veilederen definert som bygninger som kan tilpasse seg annen bruk enn den som lå til grunn da de ble planlagt, utformet og oppført. Slike bygninger planlegges for generalitet, fleksibilitet, elastisitet eller mobilitet, der de første tre begrepene er som definert i seksjon 2, mens mobilitet er et begrep som er ment for strukturer som kan demonteres og monteres for samme bruk på et annet sted.

Multiconsult, 2008 har utarbeidet en interaktiv veileder om endringsdyktighet der sentrale temaer som fleksibilitet, generalitet og elastisitet er omtalt og ulike bygningstypers behov for endring er beskrevet. I veilederen, er en grafisk fremstilling presentert (se Figur 3) hvor sammenhengen mellom funksjonalitet og endringsdyktighet i eksisterende bygninger vises.



Figur 3 Sammenhengen mellom funksjonalitet og endringsdyktighet. Kilde: Multiconsult, 2008.

Hjellnes Consult AS har undersøkt hvordan Svanen miljømerking kan stille krav til svanemerket renovering (Hjellnes Consult AS, 2016). Det er nevnt at endringsdyktighet i bygninger tillater endringer i byggets levetid, slik at man kan unngå å rive ved nye behov. Det bør kartlegges endringsdyktighet i forhold til framtidige ombygging, før en beslutning om rehabilitering eller riving kan tas. Noen bygningstiltak kan representere hindringer til endringsdyktighet, slik som lav takhøyde, spesielle eller rigide konstruksjoner og bygning/rom som kun er utviklet for spesifikke funksjoner. I tillegg kan nye krav til f.eks. tilgjengelighet/ universell utforming føre til noen utfordringer på tidligere tiders arkitektur.

Geldermans, 2016 har i en vitenskapelig artikkel fremmet ideen om bygninger som materialbanker, som radikalt endrer måten materialstrømmer må håndteres. For å jevne ut veien til implementering av C2C, kan sirkulære bygningsprinsipper kombineres med Design-for-Adaptability-retningslinjer (DfA) som er forankret i forbedret motstandskraft i det bygde miljøet på den ene siden, og de tilhørende konstruktive implikasjonene på den andre side. Geldermans, 2016 fremhever også viktigheten av Design for Disassembly (DfD) som verdifull metode i arkitektonisk praksis, for å forutse gjenbruk av høy kvalitet av gjenvunnet materiale utover vanlige designløsninger som bare utsetter avfallsfasen.

I en vitenskapelig artikkel av Adams et al., 2017 påpekes det at for å muliggjøre sirkularitet gjennom en økning i levetid på bygninger og materialer, skal bygningsdesign ta hensyn til endringsdyktighet og fleksibilitet, samt dekonstruksjon ved slutten av levetiden. Begreper "adaptability" og "flexibility" ble fremhevet som sentrale aspekter mot sirkulær økonomi, både i designfase og bruks- og renoveringsfase.

Noen vitenskapelige artikler har undersøkt endringsdyktighet i spesifikke bygningskategorier, slik som skole- og universitetsbygninger. Marmot, 2017 har analysert hvordan slike bygninger kan tilpasses for å imøtekomme vekst og betydelige endringer i utdanningsteknologi, samt hvordan nye bygg kan

utformes for å tåle fremtidige endringer. Hun undersøkte innovative oppgraderinger av gamle undervisningsbygg og ombygginger av andre fasiliteter til moderne skoler, høyskoler og universiteter. Gjennom dette arbeidet ble generelle prinsipper og nyttige verktøy identifisert, som har gitt nyttig støtte til lærere, arkitekter og designere som jobber i dette feltet.

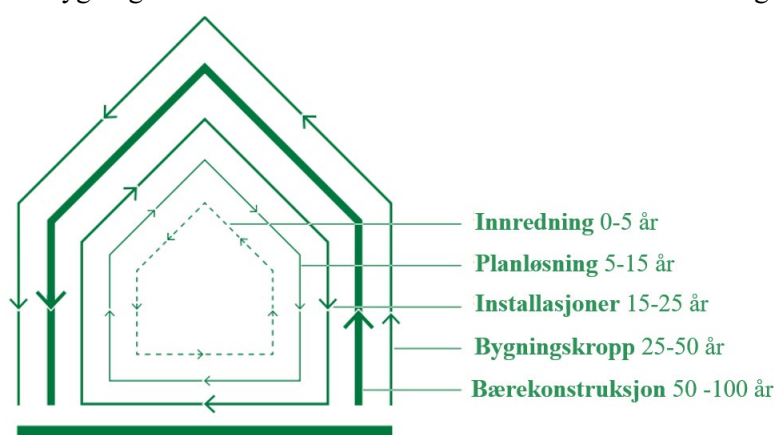
Askar et al., 2021 gjennomførte en detaljert state-of-the-art gjennomgang, for perioden 2015-2021, med fokus på konseptutvikling av endringsdyktighet (adaptability) i bygninger. De peker på at utforming av fremtidige bygninger for endringsdyktighet er en avgjørende forutsetning for bærekraft, og fremhever også endringsevnenes bidrag til både avbøtende og tilpassende tiltak for klimaendringer, spesielt i forhold til bygningers sirkularitet og motstandsdyktighet.

DfA er et sentralt tema i artikkelen til Askar et al., 2022 som gjennomførte en analytisk gjennomgang på to typer vurderings- og designstøtterammer, dvs. endringskriterier og vurderingsrammer som håndterer endringsevne i bygninger, og eksisterende rammeverk og verktøy for sirkularitetsvurdering på sirkulær bygningsdesign. Resultater viser at begrepet av bygnings endringsdyktighet mangler analytiske metoder som kvantifiserer en bygnings evne til å tilpasse seg, samt empiriske data som prioriterer de mest verdifulle kriteriene som tilrettelegger for endringsdyktighet.

Endringsdyktighet er også omtalt i FutureBUILTS Sirkulær - kriterier for sirkulære bygg (Nordby et al., 2023) der det sies at *"Prosjektering for endringsdyktighet (eller endringsdyktighet) innebærer å planlegge bygg på en slik måte at bygget kan endre funksjon og bruk uten store materielle inngrep. På den måten vil bygget kunne få en lang levetid"*. Det er også oppgitt en tabell som viser eksempler på tiltak som muliggjør fremtidige endringer. Denne skal benyttes i planleggingen av endringsdyktighet.

Manewa et al., 2013 har i en vitenskapelig artikkel undersøkt designstrategier for endringsevne i bygninger, og dermed legge til rette for et bærekraftig bygd miljø. Først undersøkte de hvordan bruken og funksjonen til det bygde miljøet, sammen med tilknyttet infrastruktur, har endret seg over en periode på 100 år, basert på to case-studier (Loughborough og Liverpool, UK). Så forklarte de hvordan endringsdyktige bygninger kan reagere på disse endringene på en bærekraftig måte.

For endringsdyktige bygninger bør det unngås å ha bindinger mellom ulike bygningskomponenter med ulike levetider, som er godt illustrert i Stuart Brands lagdelingsmodell vist i Figur 4. Modellen viser ulike bygningsdeler som kan sies å ha tilnærmet lik levetid/endingstakt.



Figur 4 Forventet levetider på ulike deler av en bygning. Kilde: GXN/3XN, 2018, tilpasset fra Brand, 1995.



#### 4.1.1 Eksempler

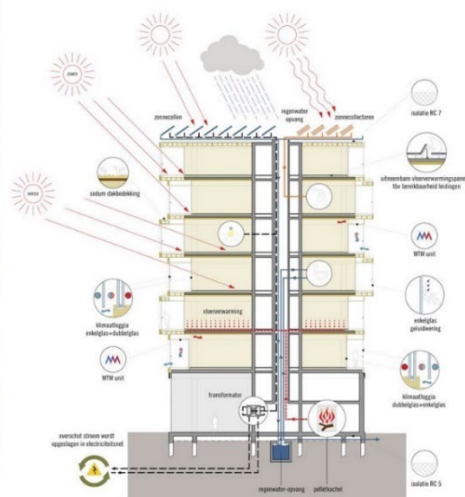
Det finnes flere eksempler av endringsdyktige bygninger internasjonalt.

Den nye Discovery Building ved Santa Monica High School i California, USA (se Figur 5) er designet for å støtte kontinuerlig endring. Klasserom skal være fleksible for blandet læring med kohorter i klasserommene og studenter som studerer hjemmefra som deltar virtuelt og samtidig gjennom strategisk distribuert teknologi, inklusive av videokonferanseverktøy og interaktive tavler. Andre rom, innendørs og utendørs, må tenkes som alternative steder der elevene kan lære og utforske i mindre grupper.



Figur 5 Illustrasjon av Discovery Building på Santa Monica High School. Kilde: <https://commonedge.org/why-well-need-more-flexible-buildings-in-the-post-covid-era/>

Patch 22 Housing and Office-komplekset i Amsterdam (se Figur 6) er bygget basert på Open Building-prinsipper for å gi individualiserte en- og to-etasjes boliger som også kan konverteres til kontorer. Bygningens fleksible utforming gjør det mulig å endre funksjonen fra et kontorbygg til et boligbygg uten å gjøre endringer i strukturen. Videre kan layout av leilighetene justeres for å oppfylle de ulike behovene til eierne og kan brukes til å kombinere arbeidsplass med boareal.



Figur 6 Patch 22 Housing and Office complex i Amsterdam. Kilde: <https://commonedge.org/why-well-need-more-flexible-buildings-in-the-post-covid-era/>

University of Lincoln Great Central Warehouse og Engine shed i Storbritannia (se Figur 7) var opprinnelige industrielle bygg (varehus og lokomotivstall) som har blitt renovert og endret om til et universitetsbibliotek og underholdningsanlegg. Den eksisterende strukturen egnet seg til ombruk, hvor en ekstra etasje er lagt til i strukturen for å øke bruksarealet og skape mer plass til oppbevaring av bøker og studieplasser. Noen tilleggsbygg/inngrep i form av eksterne trapper og et seminarrom utkraget over elven knytter visuelt de renoverte byggene med resten av den moderne campusen.



**Figur 7** University of Lincoln Great Central Warehouse i Storbritannia. Kilde: <https://www.stemarchitects.co.uk/projects/great-central-warehouse-library/>

Nasjonalt finnes det flere norske prosjekter, notater og erfaringsrapporter om endringsdyktighet i bygninger.

Det er for tiden tre prosjekter som følger FutureBuilts kriteriesett for sirkulære bygg, der to av dem omtaler endringsdyktighet, det vil si Kristian Augusts gate 13 (KA 13) i Oslo og Kristian Augusts gate 23 (KA 23) i Oslo. KA 13 er beskrevet senere i teksten der funnene fra erfaringsrapporter oppsummeres. KA 23 (se Figur 8) sørget for en omfattende ombrukskartlegging med mål om å undersøke eventuelle miljøkonsekvenser ved riving sammenlignet med oppgradering og ombruk av eksisterende bygnings-elementer. Da ble flere komponenter beholdt, slik som fundamenter, bærekonstruksjoner, yttervegger, dekker, deler av innervegger og noe teknisk utstyr. Ombruk, gjenbruk, vugge-til-vugge og design-for-demontering ble sentrale begreper i design fase. Cirka 50% av materialer og komponenter er ombrukte og ombrukbare. Bygget ble oppgradert med flere fleksible løsninger, inklusive av åpne og arealeffektive plan, slik at mer dagslys kan slippe inn og arealeffektiviteten i hvert plan er høy. Innervegger ble spesielt vurdert med fokus på ombrukbarhet og endringsdyktighet. Forvaltning, drift og vedlikehold (FDV) inkluderer demonteringsanvisning for de ombrukbare komponenter. Tekniske anlegg ble designet med høy fleksibilitet for ev. fremtidige endringer.



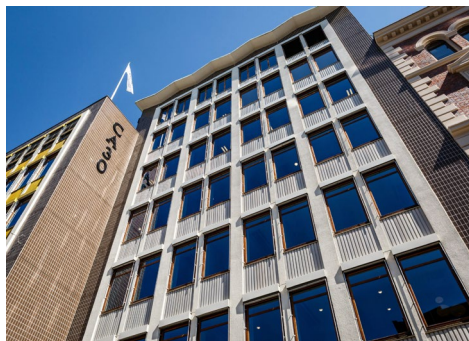
**Figur 8 Kristian Augusts gate 23 (KA 23) i Oslo.**

I en erfaringsrapport om ombruk, har ENTRA, 2021, oppsummert erfaringer fra prosjektet KA13 i Oslo (se Figur 9). Dette prosjektet hadde høye miljøambisjoner, med målet om høy grad av ombruk av bygningsdeler, inklusive av bærende konstruksjoner. Prosjektet inneholdte et tilbygg på 8 etasjer og ny takterrasse over 1.etasje som hovedsakelig består av ombrukte materialer. I tillegg ble mesteparten av yttervegger i eksisterende bygg beholdt, unntatt vinduer. KA13 ble også den første piloten i FutureBuilt sitt program om ombruk, og er nå det første prosjektet som oppfyller FutureBUILTs kriteriesett for sirkulære bygg. I KA13 har ombrukbarhet og endringsdyktighet på ulike måter blitt iverksatt, selv om fokus har vært på ombruk av bygningselementer. Når det gjelder generalitet, er arbeidsplassene lokalisert i kontorer og større team-rom, samt i åpne landskap. Alle hovedrom har også godt dagslys, og de kan brukes og leies ut uavhengig av hverandre. Med hensyn på elastisitet, gir den generelle planløsningen mulighet for vertikal elastisitet. Fleksibilitet er også ivaretatt i prosjektet, der er KA13 over snittet fleksibelt i forhold til standarden i bransjen. Innervegger og tekniske anlegg er bygd slik at de er uavhengige systemer i bygget. Fasadeløsningen som er valgt i KA13 tillater utskifting av enkelte plater i løpet av levetiden og eventuelt senere ombruk.



**Figur 9 Kristian August Gate 13 (KA 13) i Oslo.**

Cort Adelers gate 30, Kontorbygg i Oslo (se Figur 10) ble oppført i 1960 som et påbygg til et gammelt skolebygg ved siden av, som er fra 1889. Bygget ble brukt som skolebygg frem til 2007, og ble totalrehabilitert og omregulert til kontorbygg i 2008. Lokalene er gjennomgående med veldig god takhøyde og store vinduer på begge sider, noe som gir gode dagslysforhold.



Figur 10 Cort Adelers gate 30 i Oslo.

#### 4.1.2 Hovedprinsipper

I Tabell 3 har vi sammenstilt og klassifisert mulige tiltak knyttet til hovedstrategiene mot endringsdyktighet av bygninger (fleksibilitet, generalitet og elastisitet), basert på litteraturgjennomgangen (Arge, 2003; Multiconsult, 2008; Nuth Leland, 2008; Nordby, 2020; Grønn Byggallianse, 2022; Nordby et al., 2023).

Tabell 2 Tiltak og strategier mot endringsdyktighet (fleksibilitet, generalitet og elastisitet) i bygninger.

Tiltak		Fleksibilitet	Generalitet	Elastisitet
Planløsninger og romløsninger	Moduldesign og standardisering		•	
	Generelle og flerformål romløsninger		•	
	Enheter som kan brukes sammen eller hver for seg		•	
	Gode dagslysforhold		•	
	Mulig sammenslåing eller oppsplitting av bruksareal			•
	Deling av større rom til mindre arealer som muliggjør annen bruk	•		
	Mønster til tilvekst og underoppdeling			•
Funksjoner	Funksjonsseparering (arbeidsplass-funksjoner, fellesfunksjoner og spesial-funksjoner)			•
	Tilrettelegging for tilbygg ved funksjonsendringer			•
	Muligheter for sambruk dag/kveld e.l.		•	
	Planlegging med faste arealer ved funksjonsendringer		•	
	Laginndeling for å skille mellom bygningsdeler med ulike levetider (se Figur 3)	•		
Bygningskropp	Bygningsplanlegging som tillater faste kommunikasjons kjern arealer ved funksjonsendringer	•		
	Materialsjiktene kan endres uavhengig av hverandre	•		
	Bærekonstruksjon innenfor yttervegg	•		
	Bygningskroppens romlige organisering			•
Bæresystem	Bruk av modulære og ombrukbare bygge/ produktsystemer			•
	Planløsning, bæresystemer og innervegger bygd for enkel omorganisering av romløsninger	•		

Tiltak		Fleksibilitet	Generalitet	Elastisitet
	Bruk av modulære bæresystemer, inkludert oppsett for søyler/dragere og bærende vegger		•	
	Overdimensjonering av bærekonstruksjonen for mulig framtidig økt belastning			•
	Bæresystem som tillater utvidelse eller påbygg i høyden			•
	Langvarige bærende konstruksjoner	•		
	Større avstand mellom søyler og større spennvid i dekkene	•		
	Få eller ingen bærevegger	•		
	Fundament som elementer framfor plasstøpt	•		
Etasjer (høyde/dybde/areal)	Etasjehøyde som muliggjør flere typer bruk og mulighet for andre tekniske systemer			•
	Romslige romhøyder (mhp bygningsdybde og etasjehøyde)		•	
	Mulighet for etablering av frie, åpne flater (romstørrelse)	•		
Innredning (overflater, gulv, innervegger og installasjoner)	Utskiftbare enkeltelementer	•		
	Uavhengige innervegger og tekniske systemer	•		
	Bruk av ubehandlede/ ferdigbehandlede materiale	•		
	Bruk av modulært grid		•	
	Bruk av standardiserte materialstørrelser		•	
	Bruk av modulære og ombrukbare bygge/ produktsystemer			•
Tekniske installasjoner	Strategisk plassering av tekniske installasjoner	•		
	Innstøpt teknisk anlegg som er enkle å justere/ flytte på / skifte ut	•		
	Overdimensjonerte teknisk rom, sjakter, installasjoner og føringsveier for fremtidige økning av kapasiteter			•
	Tett spredenett for punktuttak uten større omlegginger eller bygningsmessige inngrep.		•	
<b>Spesifikke tiltak for kontorbygg:</b>				
	Full brannsprinkling			•
	Intelligente styringssystem			•
	Teknisk grid (som avspeiler alle mulige arbeidsplassposisjoner og plasseringer av rom)		•	
	Oppført ledningsgulv		•	
	3D og sonebaserte el. og IKT forsyning		•	
	Sammenhengende flat og lydtett himling	•		
	Plug and play systemvegger	•		

### 4.1.3 Oppsummering av mulige evalueringsmetoder på bygningsnivå

Det finnes ikke en standardisert og omforent metode for å evaluere endringsdyktighet i bygninger. I norsk sammenheng er de mest sentrale metodene for evaluering av en bygnings endringsdyktighet de som er beskrevet av BREEAM-NOR og FutureBuilt.

I BREEAM NOR er det beskrevet en metode for å evaluere endringsdyktighet i bygninger. Det angis en liste av komponenter som må være med i vurderingen som et minimum, det vil si planlagte funksjoner og muligheter for fremtidige bruksendringer; bæresystem; klimaskall; kommunikasjonsarealer og kjerner; planløsning; tekniske installasjoner. BREEAM NOR oppgir at de overnevnte komponentene skal vurderes med hensyn til ulike prinsipper for endringsdyktighet:

1. Generalitet, mulighet for funksjonsendring uten å endre bygningskropp.
2. Fleksibilitet, mulighet for endringer innenfor eksisterende bygningskropp.
3. Elastisitet, mulighet for endringer utover eksisterende bygningskropp.

I FutureBuilt sirkulær - kriterier for sirkulære bygg er det sagt at det skal gjøres rede for tiltak for endringsdyktighet som muliggjør fremtidige endringer. Dokumentasjonen kan følge BREEAM-NOR v6.0 Mat07 Endringsdyktighet og ombrukbarhet. FutureBuilt sirkulær beskriver ikke noe spesifikk evalueringsmetode for endringsdyktighet i bygninger som heller ikke er inkludert i beregning av sirkularitetsindeksen.

Litteraturgjennomgangen viste bare få eksempler av metoder for å evaluere endringsdyktighet i bygninger. Nedenfor er en oppsummering av de verktøyene og modellene for vurdering av bygningsendringsevne som Askar et al., 2021 identifiserte.

#### 1. Adaptive Reuse Potential Model (ARP)

---

ARP-modellen er et verktøyrammeverk som ble utviklet av Langston et al., 2008 som støttemiddel for å identifisere og evaluere bygninger som potensielt er tilstrekkelige for adaptiv gjenbruk før de når et rivningspunkt. Verktøyrammeverket antyder at en bygnings levetid kan bestemmes av flere kriterier som manifesterer seg som reduksjoner i dens fysiske levetid. Å gjennomføre en ARP-vurdering krever et estimat av den forventede fysiske levetiden til bygningen og dens nåværende alder. Evaluering av fysisk, økonomisk, funksjonell, teknologisk, sosial og juridisk foreldelse er også nødvendig. I denne forbindelse ble en målemetodikk utviklet for hvert av foreldelseskriteriene og en skala ble laget for å beregne hvert kriteriums fysiske levetidsreduksjonsprosent. Bygningens levetid vurderes som en andel av den forventede levetiden redusert med summen av foreldelsesfaktorenes rater. ARP-indeksen beregnes deretter ved hjelp av en matematisk algoritme og uttrykkes i prosent. Jo høyere prosentandel, desto større er potensialet for adaptiv gjenbruk.

#### 3. The Adaptable Building Design (ABD) Framework

---

Allahaim et al., 2019 introduserer et designstøtteverktøy som er avhengig av prediktiv usikkerhetsmodellering for å levere bygninger med evne til endring og dermed økt levetid. Rammeverket tar sikte på å integrere flere fleksibilitetsalternativer i designfasen som adresserer en rekke fremtidige usikkerhetsmomenter. Deretter vurderes verdien av disse alternativene for beslutningstaking. Rammeverket består av fire hovedfaser: i fase 1 identifiseres mulige fremtidige usikkerheter, inkludert markedsforhold, ytelse og teknologi, policyer og standarder og klimaforhold. I fase 2, basert på usikkerhetene identifisert i fase 1, fleksibilitetsalternativer analyseres, og nødvendige alternativer er innebyggede i utformingen

av flere bygningssystemer, for eksempel romlige, strukturelle og servicesystemer. I fase 3 brukes en beslutningsmekanisme basert på matematisk logikk for å formulere designregler som identifiserer når hvert innebygd fleksibilitetsalternativ skal brukes. Etablering av designregler er avhengig av flere parametere som vurderer bygningens eiendomsytelse på et bestemt tidspunkt. I fase 4 utføres verdi-analyse og beregning ved bruk av Real Option Analysis metodikk, som gjør det mulig å evaluere kapasiteten til å imøtekomme fremtidige usikkerheter i prosjektet, så vel som dens økonomiske verdi ved å utføre simuleringer av sannsynlige fremtidige scenarier.

#### **4. IconCUR**

IconCUR av (Langston and Smith, 2012) er et konseptuelt rammeverk for å støtte beslutningstakere angående adaptiv gjenbruk av bygde eiendeler ved hjelp av en metodisk tilnærming som kombinerer Adaptive Management (AM) og Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA). Modellen bruker primærkriterier for tilstand, utnyttelse og belønning for å lage en 3D-modellering av et rom der egenskapsstatusen kan kartlegges ved hjelp av tre koordinater (x,y,z) som tilsvarer de tre innledende kriteriene, det vil si tilstand, utnyttelse og belønning. Beslutningsstyrken (z) er basert på forhold som eksisterer mellom eiendommens fysiske tilstand (x-aksen) og gjeldende utnyttelsesgrad (y-aksen). Følgende mønstre forventes: lav tilstand og lav utnyttelse – rekonstruer eller kast; høy tilstand og høy utnyttelse – behold eller forleng; lav tilstand og høy utnyttelse – renover eller bevar; høy tilstand og lav utnyttelse – gjenbruk eller tilpass; tilstand og utnyttelse måles på en skala fra 0 (lav) til 5 (høy). Belønning (z-aksen) kvantifiserer intervensjonsverdien basert på dens økonomiske, sosiale og miljømessige påvirkninger. Det måles også på en skala fra 0 (lav) til 5 (høy). Forskjellen mellom belønningsverdier før og etter intervensjonen bestemmer imidlertid verdien av beslutningen.

#### **5. AdaptSTAR Model**

AdaptSTAR er et designvurderingsverktøy utviklet av Conejos et al., 2014 som tilbyr helhetlige og enhetlige designkriterier egnet for å vurdere det adaptive gjenbrukspotensialet til fremtidige bygg. Modellutviklingen er ment for å hjelpe designere med å ta kritiske designbeslutninger ved å beregne en adaptiv gjenbruksstjerneklassifisering for nydesignede bygninger som gir verdi til urban bærekraft. AdaptSTAR-modellen tilbyr 26 designkriterier som dekker aspekter ved bygninger med adaptivt gjenbrukspotensial. Kriteriene er bygget på syv drivere for foreldelse: fysisk, teknologisk, økonomisk, funksjonell, sosial, juridisk og politisk. Poengsystemet er satt sammen av en vektet sjekklister utviklet basert på en undersøkelse blant tjue erfarne arkitekter. Poengsummene summeres for å beregne antall stjerner. Undersøkelsen ble utført ved å bruke et system med en skala på 5 vurderingsverdier, 1 (uviktig), 2 (ikke veldig viktig), 3 (ingen mening), 4 (viktig) og 5 (veldig viktig), som evaluerer virkningen av de syv kategoriene for ukurans mot adaptiv gjenbruk av nybygg. Ifølge undersøkelsen er fysisk foreldelse, inkludert tre designkriterier: strukturell integritet og fundament, materialbestandighet og utførelse samt vedlikeholdbarhet funnet å være det viktigste.

#### **6. Preliminary Assessment Adaptation Model (PAAM)**

Preliminary Assessment Adaptation Model (PAAM) (Wilkinson, 2014) er en prediktiv modell for å støtte beslutningstaking vedrørende endringer av eksisterende kontorbygg. Forskningen tar for seg seks nivåer av endringer utpekt som nivå 1 'mindre', nivå 2 'endringer', nivå 3 'bruksendring', nivå 4 'endringer og utvidelser', nivå 5 'nybygg', og nivå 6 'riving'. Sammen med seks merker av egenskapsattributter som påvirker endring (fysisk, sosial, økonomisk, miljømessig, juridisk og teknologisk), brukes disse nivåene for å danne PAAM-konseptuell modell. Modellen tar sikte på å foreta en første vurdering av

bygningsegnethet for nivå 4 av endring, det vil si endring og tilbygg. Principle Component Analysis (PCA) matematisk teknikk ble brukt på 5290 endringshendelser for å lage belastninger av de individuelle faktorene for hver egenskapsattributtkategori og derfor identifisere en rekkefølge av relativ betydning på de forskjellige attributtene. PCA identifiserte en sjekklister med 12 attributter som faller inn i tre kategorier av attributter: fysisk og størrelse, land og sosial. Svarene på sjekklister spørsmålene bestemmer endringspotensialet fra svært lavt til veldig høyt. Sjekklister gir et enkelt instrument for interessenter og ikke-eksperter for å bestemme det samlede potensialet til et eksisterende kontorbygg med fokus på eiendomsattributtet som utvikler størst variasjon i endring. Verktøyet er imidlertid orientert mot den australske konteksten og ikke tar for seg funksjonelle eller bruksendringer, men det gjelder mest mindre endringstiltak.

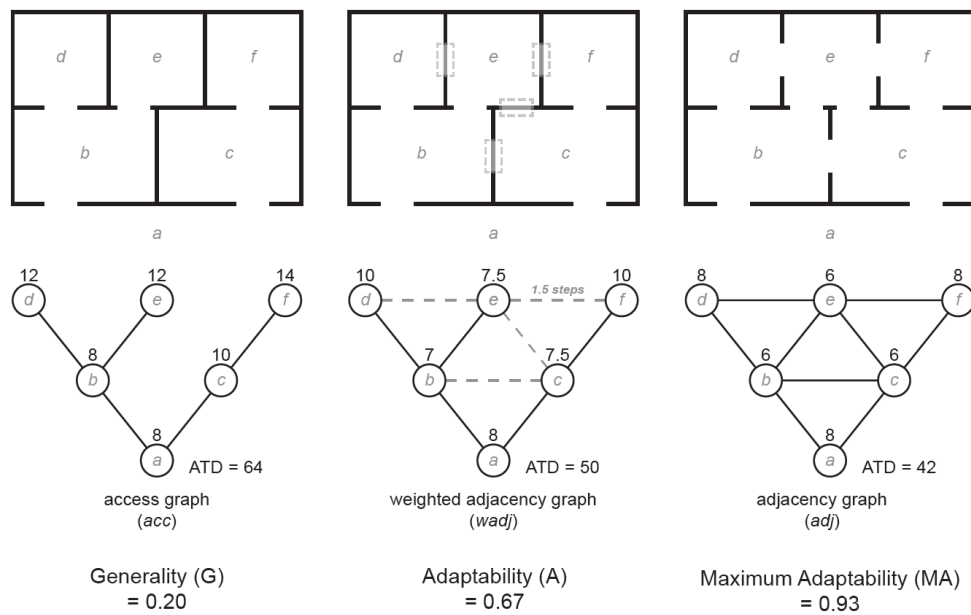
#### **7. Flex 4.0**

Basert på konseptet "Open Building" av Habraken, 1972, introduserer FLEX 4.0-instrumentet utviklet av Geraedts, 2016 en helhetlig vurderingsmodell med nøkkelindikatorer for å vurdere nivået av endringsevne til bygninger. FLEX 4.0 er en avansert versjon av FLEX 2.0 og FLEX 3.0 verktøy og består av to sett med indikatorer som tilsvarer støtte-infill-teorien til Habraken, 1972. Støttesettet består av 12 indikatorer som er generelt gjeldende uavhengig av type og bruk av det vurderte bygget. En annen kategori som består av 32 ytelsesindikatorer er spesielt aktuelt for skoler og kontorbygg. Vurderingsverdien for alle indikatorer er uttrykt som; 1 (dårlig), 2 (normal), 3 (bedre) og 4 (best). De to settene med indikatorer er kategorisert i 6 lag: sted, struktur, bygningskropp, tjenester, romplan og interiør. Indikatorene kan brukes til å utføre en gapanalyse mellom endringsevnenivået ønsket av interessenter og det faktiske endringsnivået til en bygning. Imidlertid tildeles vektorer til hver indikator i forhold til de andre, fra 1 (ikke viktig) til 4 (veldig viktig). Den endelige poengsummen for hver indikator bestemmes ved å multiplisere vektingen med vurderingsverdien. Alle poengsummene summeres for å bestemme den endelige fleksibilitetspoengsummen og tilsvarende klasse.

#### **8. The SAGA Method**

Herthogs et al., 2019 har forsøkt å kvantifisere bygningens endringsdyktighet gjennom en vurderingsmetode. Metoden bruker vektete grafer for å evaluere generaliteten (passiv støtte for endring) og endringsdyktighet (aktiv støtte for endring) av en bygnings romlige konfigurasjon. Det er brukt en kvantitativ modelleringstilnærming kalt SAGA-metoden (Spatial Assessment of Generality and Adaptability), som kvantifiserer hvor godt en bygnings romlig tilkoblingsnettverk kan støtte endring passivt (dvs. generalitet) og aktivt (dvs. endringsevne). Se også Figur 12.





**Figur 11** Eksempel av SAGA-metodens grafer for å evaluere generaliteten (passiv støtte for endring) og endringsdyktighet (aktiv støtte for endring) av en bygnings romlige konfigurasjon. Kilde: (Herthogs et al., 2019)

## 9. Adaptive Reuse Assessment Model

Adaptive Reuse Assessment Model (ARAM) (Wilkinson and Yazdani Mehr, 2021) er en vurderingsmodell av adaptivt gjenbruk og endringspotensial i kulturarvsbygninger i ulike livssyklusstadier. Modellen er avhengig av å identifisere utfordringskategorier for adaptiv gjenbruk av verneverdige bygninger og kritisk analysere eksisterende beslutningsverktøy og vurderingsmodeller. Trettito utfordringer knyttet til adaptiv gjenbruk av kulturarvsbygninger er identifisert og kategorisert i åtte grupper: miljømessig, sosialt, økonomisk, juridisk, politisk, fysisk, stedlig og teknisk. Vurderingsmetodikken starter med å identifisere nøkkelverdiene, som er de som tilsvarer arvets betydning og autentisitet, og bekrefter deretter at de adaptive gjenbrukshandlingene er i stand til å bevare disse. Det neste trinnet er å vurdere den økonomiske levedyktigheten, etterfulgt av de tekniske og juridiske vurderingene. ARAM er en enkel modell for vurdering som kan utføres av interessenter uavhengig av deres kompetansenivå. Modellen foreslår ikke tekniske løsninger. Den fungerer snarere som et beslutningsstøtteverktøy for involverte interessenter.

## 4.2 Ombrukbarhet og gjenbrukbarhet i bygninger

Temaene ombrukbarhet og gjenbrukbarhet er nært knyttet til sirkularitet og endringsdyktighet i bygninger. SINTEF har forsket på ombrukbarhet og gjenbrukbarhet i bygninger fra flere vinkler.

Gjenbrukbarhet ble betraktet i et forsknings- og utviklingsprosjekt som SINTEF gjennomførte med Snøhetta AS i 2006 - 2010, det vil si GLITNE (Mysen et al., 2010). Formålet med prosjektet var å fremsette nødvendig kunnskap om måten miljøeffektive bygg kan også bli økonomisk konkurransedyktige. Prosjektet siktet også på å stimulere mer miljøvennlige produkter spesielt i forhold til gjenbruk og gjenvinning, noe som også kan tillate økte markedsmuligheter for miljøriktige avfallsaktører. I et tilknyttet prosjekt, "GLITNE gjenbruk" (Wærp and Holthe, 2009), ble det gjort en kartlegging i bransjen

av hvilke materialer og komponenter som skiftes ut oftere i bygg og kan ha stor miljøbelastning, og slike materialer bør være tilrettelagt for fremtidig gjenbruk.

Sørnes et al., 2014 presenterte en rapport som et resultat av arbeidet knyttet til forskningsprosjektet UPGRADE, som handlet om kartlegging av ombrukspotensial og vurdering av nye løsninger som kan nyttes inn i oppgradering av eksisterende bygninger. De undersøkte de produktene som overordnet sett kunne representere de lavest hengende fruktene, og som dermed kunne være viktig å satse på med hensyn på miljøgevinsten ved ombruk. I rapporten er det også nevnt noen prinsipper som tilfører økt ombruk ved prosjektering, som ble hentet fra doktoravhandlingen til Nordby, 2009, det vil si: begrenset materialvalg, lang levetid, høy generalitet, fleksible forbindelser, fornuftig lagdeling og tilgjengelig informasjon.

I forbindelse med ovennevnte UPGRADE prosjekt, har Mysen et al., 2014 publisert en rapport der de fokuserer på gjenbruk av kanalnett ved oppgradering til behovsstyrt ventilasjon. De presenterer også et flytskjema som viser trinnvis fremgangsmåte for gjenbruk av kanalnett som kunne i utgangspunkt brukes for å vurdere gjenbrukbarhet av andre materialer/produkter ved oppgraderingsprosjekter.

Fufa et al., 2021 viser i en SINTEF-rapport noen av funnene fra forskningsprosjektet REBUS (Reuse of Building materials – a USer perspective). Målet med prosjektet var å vurdere den tekniske, miljømessige og økonomiske ytelsen knyttet til ombruk av gatestein gjennom kartlegging, laboratorieprøving, livssyklusanalyse og kostnadsanalyse. Rapporten gir også noe generell veiledning og anbefalinger i forbindelsen med produktokumentasjon og miljø- og kostnadsanalyse av gjenbrukbare bygge-materialer.

I et nyere SINTEF notat har Sandberg and Kvellheim, 2021 analysert markedsutsiktene for ombruk av byggematerialer og identifisert drivere og barrierer for fremtidig utvikling av ombruk i Norge. Kartlegging og analyse ble utført gjennom dokumentstudier, deltakelse og dybdeintervjuer med aktuelle aktører som har en viktig rolle for direkte ombruk av byggematerialer i den norske bygg- anleggs- og eiendom (BAE)-næringen. Det ble konkludert at ombruk av byggematerialer har et betydelig potensial for å bidra til å redusere avfallsmengden og klimagassutslipp fra BAE bransjen, men det er blant annet en del regulatoriske og økonomiske barrierer. Dette står høyt på agendaen i EU, og Norge blir påvirket gjennom EØS-avtalen, men markedet for direkte ombruk av byggevarer er umodent i Norge og verdikjeden for ombruk må innoveres.

Skaar et al., 2021 har sett på tematikken av ombruk av byggevarer i den eksisterende bygningsmassen i ZEN-pilotområdet på Fornebu. De forsøkte å identifisere konkrete forslag til ombruk innenfor det definerte planområdet, spesielt med hensyn på informasjonsbehovet knyttet til de viktigste byggevarene som er ombrukbare i dagens marked. Spesifikke produktgruppene ble valgt i ZEN-casen, dvs.: i) betong, ii) tegl, iii) ventilasjonskanaler, iv) radiatorer. En faglig gjennomgang ble utført for disse produktgruppene, samt teknisk karakterisering og innledende prosessbeskrivelse for ombruk, der et generisk flytskjema ble også presentert. Potensialet for klimagassreduksjon ble beregnet ved bruk av en innledende livsløpsvurdering, hvor to scenarier for ombruk er sammenlignet med klimagassutslipp for nye produkter. Resultatene viser at det er et stort potensial for reduserte utslipp, med over 90 % reduksjon for flere produktkategorier, men det må tas hensyn til faktorer som påvirker resultatene, slik

som metodevalg, transportavstand, funksjon og klargjøring/lagring. Rapporten viser også at mangel på dokumentasjon for eldre bygninger er en barriere for ombruk.

I forbindelse med REBUS prosjekt har Kron et al., 2022 utarbeidet en veileder som gir retningslinjer for ombruk av noen bygningskomponenter, inklusive av innvendige glassvegger, vinduer, dører, deler av ventilasjonsanlegg og sanitærutstyr. Veilederen er tenkt for en del aktører involvert i byggebransjen, slik som rådgivere, byggherrer og utførende som ønsker å ta inn ombruksprodukter i byggeprosjekter.

Moschetti et al., 2022 har i et notat sett nærmere på ombruk av vinduer. Dette er et produkt som er energi- og CO<sub>2</sub>-krevende å produsere, der ombruk av gamle vinduer potensielt kan bidra med positiv effekt fra et bærekraftsynspunkt. Notatet presenterer et flytskjema som illustrerer hva som per i dag bør gjøres med et brukt vindu dersom man vil sende det til avfall eller ombruke det. Videre er noen innledende beregninger vist med mål om å undersøke mulige gevinster ved å ombruke et brukt vindu framfor å benytte et nytt produkt.

En annen rapport knyttet til REBUS prosjektet (Lappegard Hauge et al., 2023) fokuserer på innspill til vilkår for ombruk av byggematerialer i Norge og de relaterte statlige føringene. Gruppeintervjuer ble gjennomført blant medlemmene i et nettverk for læring av ombruk av byggematerialer. Målet var å undersøke hvordan entrepriserformer, lovendringer, veiledning for offentlige anskaffelser, marked og økonomiske støtteordninger påvirker ombruk av byggematerialer. Intervjuene resulterte blant annet i åpne refleksjoner om de føringene for ombruk som er tilgjengelig i samfunnet. Dette kan bidra til en bedre forståelse av hvordan disse føringene blir forstått og oppfattet av ulike aktører i byggebransjen, som er særlig interessert i ombruk.

#### **4.2.1 Hovedprinsipper**

Noen hovedprinsipper er identifisert for ombrukbarhet og gjenbrukbarhet i bygninger (Kilvær et al., 2019; Kron et al., 2022; Sørnes et al., 2014) og listet nedenfor:

1. Minimering av mengde materialer og komponenter, samt unngåelse av overflatebehandlinger og miljø- og helsefarlige stoffer mot forenkling av demontering/remontering og muliggjøring av ombruk.
2. Utforming av holdbare komponenter med lang levetid og passende toleranser for gjentatt demontering og remontering.
3. Bruk av høy generalitet ved projektering, gjennom standard dimensjoner og moduldesign, mot øking i sjansene for ombruk på grunn av arkitektonisk fleksibilitet, forenklet håndtering og redusert transportbehov.
4. Utnyttelse av fleksible og reversible forbindelser mellom komponentdeler og mellom bygningsdeler, mot forenklet demontering av enkeltkomponenter uten å skade andre bygningsdeler.
5. Utforming av fornuftig lagdeling i henhold til forventet levetid for komponentene mot forenklet demontering og skadeforebygging, spesielt ved enkeltkomponenters utskifting.
6. Tilgjengeliggjøre nødvendig informasjon om materialer og komponenttyper, samt festepunkter mot forenklet planlegging av riveprosess, lettere demontering, sortering og remontering.

Hovedtiltak for å få til ombruk/gjenbruk av byggekomponenter er identifisert, basert på (Kron et al., 2022):

1. Kartlegging for ombruk/gjenbruk: vurdering av tilstand til ulike komponenter med identifisering av slitte eller skadde komponenter.
2. Materialer, aldring og utbedring av skader: definisjon for hver byggevares andel av spesifikke materialer, aldringsprosesser og -reduksjon, og eventuelt løsninger for å utbedre skader.
3. Helse, miljø og sikkerhet: identifisering av mulige risikoer knyttet til tilfredsstillende dagens krav til teknikk, helse, miljø og sikkerhet som kan hindre ombruk/gjenbruk.
4. Dokumentasjon av egenskaper ved ombruk: bruk av flere dokumentasjonsmetoder, inklusiv av visuelle undersøkelser, original dokumentasjon, omprøving, og beregninger.

#### 4.2.2 Oppsummering av mulige evalueringsmetoder på komponentnivå

I BREEAM NOR er det beskrevet en metode for å evaluere ombrukbarhet i bygninger. Det angis en liste av komponenter som må være med i vurderingen som et minimum, det vil si:

- bæresystem
- klimaskall
- innvendige lag og komponenter (overflater, lettvegger, trapper osv.)
- tekniske installasjoner

Ovenstående skal vurderes med hensyn til de ulike strategiområdene:

1. materialvalg
2. fleksible forbindelser
3. tilgjengelig informasjon
4. produsentavtaler o.l.

I FutureBuilt sirkulær - kriterier for sirkulære bygg er det sagt at det skal gjøres rede for hvordan bygget er tilrettelagt for ombrukbarhet og gjenvinnbarhet i framtid. Ombruksbarhet er inkludert blant tiltaks-kategoriene for beregning av sirkularitesindeksen. Ombrukbarhet omfatter bygningselementer og konstruksjoner som er tilrettelagt for demontering og framtidig ombruk. For at en komponent skal kunne regnes som ombrukbar gjelder følgende prinsipper: materialvalg, demonterbarhet, informasjon og sirkulære forretningsmodeller.

Litteraturgjennomgangen viste bare at det eksisterer noen få eksempler av metoder for å evaluere ombrukbarhet og gjenbrukbarhet i bygninger.

Hradil et al., 2017 utviklet en ny metode for vurdering av ombrukbarhet av komponenter og strukturer av stålrammede bygninger. Metoden er basert på beregning av en ombruksindikator for hver komponent eller struktur slik at disse kan klassifiseres med hensyn til deres potensielle ombrukbarhet. Indikatoren er en vektet gjennomsnittsverdi av vurdering av ombruksytelsesresultater for åtte forskjellige operasjoner som inkluderer dekonstruksjon, transport, rengjøring, redesign og kvalitets- og geometri-verifisering. I forbindelse med livssyklusanalyse (LCA) gir en slik indikator verdifull informasjon for modul D (gjenbruk/gjenvinning/resirkulering-potensiale) i den europeiske standarden EN 15804 og miljøproduktdeklarasjonene. Resultatene oppnådd for en enkelt komponent eller underkonstruksjon kan generaliseres som en enkel gjenbruksindikator for hele bygningen. Denne indikatoren er det vektete gjennomsnittet av de spesielle komponentene eller understrukturene.

Durmisevic et al., 2017 diskuterer i en artikkel et verktøy utviklet som en del av EU-prosjektet "Buildings as Material Banks" (BAMB, <https://www.bamb2020.eu/>). Dette verktøyet er laget for å vurdere hvor godt en bygning og dens deler kan gjenbrukes, med mål om å forbedre deres miljømessige og økonomiske verdiforslag for fremtiden.. Artikkelen viser frem flere case-prosjekter og vurdering av indikatorer for gjenbrukspotensial, måling av funksjonelle, tekniske og materielle avhengigheter på tre nivåer av en bygnings sammensetning (dvs. bygning, system og komponent). I tillegg vil det bli satt en relasjon mellom indikatorer på gjenbrukspotensial med ulike verdiforslag basert på hvilke rammeverk for måling av miljømessig og økonomisk påvirkning av ulike gjenbruksalternativer som skal etableres.

Hradil et al., 2018 utvider gjenbruksindeksen utviklet av Hradil et al., 2017 med elementer knyttet til markedspotensialet til de gjenvinnende komponentene. Denne teknisk-økonomiske vurderingen brukes for tre rammekonstruksjonskonfigurasjoner. Metoden er utviklet spesielt for enetasjes stålbygg, men kan brukes med noen modifikasjoner for enhver komponent (eller klynge av komponenter) gjenvunnet fra et revet eller oppusset bygg. Det muliggjør klassifisering av ulike bygningsdeler og produkter gjennom en prosedyre for å beregne gjenbruksindeksen deres. Disse verdiene kan videre brukes til å produsere en enkelt gjenbruksindikator for hele end-of-life-scenariet (f.eks. fullstendig eller delvis gjenbruk av bygningen). Det aggregerte resultatet av helheten i bygget kan være svært nyttig i planlegging av rivnings- eller gjenoppbyggingsarbeider samt for vurdering av miljøpåvirkningen av de nye byggene.

Rakhshan et al., 2021 utviklet en probabilistisk prediktiv modell som bruker avanserte overvåkede maskinlæringsmetoder for å evaluere den økonomiske ombrukbarheten til de bærende bygnings-elementene. Resultatene av sensitivitetsanalyse og visualiseringsteknikker brukt i denne studien viser at den viktigste økonomiske faktoren er behovet for å kjøpe gjenbrukte elementer tidlig i et prosjekt, noe som kan ha kontantstrøimplikasjoner. De andre viktigste faktorene er den potensielle økonomiske risikoen, anskaffelsesprosessen og arbeidskostnadene. Denne studien avslører at forholdet mellom variabler ikke er lineært, og ingen av de identifiserte faktorene alene kunne avgjøre om et element er ombrukbart eller ikke. Studien viser gjennom denne artikkelen at ved å bruke grunnlaget for sannsynlighetsteori og kombinere det med avanserte veiledede maskinlæringsmetoder, er det mulig å utvikle verktøy som pålitelig kan estimere den økonomiske gjenbrukbarheten til disse elementene basert på påvirkende variabler.

Ombruksevaluering er også inkludert i så-kalt Urban Mining Index ("This is the Urban Mining Index," 2021) som er et system for kvantitativ vurdering av gjenvinningspotensialet til bygningskonstruksjoner i nybyggplanlegging. I løpet av hele livssyklusen til strukturen blir alle innkommende materialer og alle resulterende verdifulle materialer og avfallsmaterialer beregnet og evaluert i henhold til kvalitetsnivåene for deres etterfølgende bruk. De sirkulære materialenes andel i helheten av materialer brukt i en bygnings livssyklus utgjør det samlede resultatet, det vil si Urban Mining Indicator. For å beregne dette, bestemmes sirkulariteten til byggematerialer av spesifikke verdier: andelen sekundære eller fornybare ressurser og det fremtidige resirkuleringspotensialet. Ulike kvalitetsnivåer av den sirkulære materialutnyttelsen før- og etterbruk er differensiert og individuelt vurdert.

Devènes et al., 2023 identifiserer eksisterende prosesssekvenser for armert betong -ombruksprosjekter og foreslår en som involverer en ny vurderingsprosedyre for å evaluere ombrukbarheten til komponentene tidlig og lette deres fremtidige ombruksplanlegging. Artikkelen diskuterer anvendelsen

av denne prosedyren på tre dekonstruksjonsprosjekter. Resultatene er oppmuntrende med hensyn til holdbarheten til armert betong-komponenter. De konkluderte at nesten 90 % av armert betong-komponentene i en bygning kan gjenbrukes til nye formål med samme stabilitet og eksponering som i giverbygningen.

## 5. Konklusjon

Dette notatet sammenfatter kunnskapsstatus om sirkulære løsninger i byggebransjen, med spesifikt fokus på endringsdyktighet, ombruk og gjenbruk i nye og eksisterende bygninger. En litteraturgjennomgang av de ovennevnte begrepene er oppsummert og eksempelprosjekter, i nasjonal og internasjonal sammenheng, er presentert i memoet. Evalueringsmetoder og hovedprinsipper for endringsdyktighet samt ombruk/gjenbruk i bygninger er også angitt i notatet. Fremtidig forskning kan fokusere på anvendelse av de analyserte begrepene med utgangspunkt i ett eller flere av byggene som skal bygges nytt eller rehabiliteres/transformeres på NTNU Campussamling. Analyse av både nybygg og eksisterende bygg kan være av interesse ved studie av endringsdyktighet og ombrukbarhet i konkrete prosjekter.

## Referanser

- Adams, K.T., Osmani, M., Thorpe, T., Thornback, J., 2017. Circular economy in construction: current awareness, challenges and enablers. *Proc. Inst. Civ. Eng. - Waste Resour. Manag.* 170, 15–24. <https://doi.org/10.1680/jwarm.16.00011>
- Allahaim, F., Alfariis, F., Leifer, D., 2019. Towards changeability—The Adaptable Buildings Design (ABD) Framework, in: *ASCAAD 2010 Proceedings*. Presented at the 5th International Conference of the Arab Society for Computer Aided Architectural Design (ASCAAD)., Fes, Morocco.
- Arge, K., 2003. Generalitet, fleksibilitet og elastisitet i kontorbygninger. Hvilke typer tilpasningsdyktighet bør norske byggherrer velge, og hva velger de?, Prosjektrapport. Byggforsk, Oslo, Norway.
- Arge, K., Landstad, K., 2002. Generalitet, fleksibilitet og elastisitet i bygninger. Prinsipper og egenskaper som gir tilpasningsdyktige kontorbygninger, Prosjektrapport. Byggforsk, Oslo, Norway.
- Askar, R., Bragança, L., Gervásio, H., 2022. Design for Adaptability (DfA)—Frameworks and Assessment Models for Enhanced Circularity in Buildings. *Appl. Syst. Innov.* 5, 24. <https://doi.org/10.3390/asi5010024>
- Askar, R., Bragança, L., Gervásio, H., 2021. Adaptability of Buildings: A Critical Review on the Concept Evolution. *Appl. Sci.* 11, 4483. <https://doi.org/10.3390/app11104483>
- Blakstad, S.H., 2001. A Strategic Approach to Adaptability in Office Buildings, Dr.ingeniøravhandling. Fakultet for arkitektur og billedkunst. NTNU.
- Brand, S., 1995. *How buildings learn: what happens after they're built*, A Penguin book architecture. Penguin Books, New York, NY Toronto London.
- Conejos, S., Langston, C., Smith, J., 2014. Designing for better building adaptability: A comparison of adaptSTAR and ARP models. *Habitat Int.* 41, 85–91. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2013.07.002>
- Devènes, J., Bastien-Masse, M., Küpfer, C., Fivet, C., 2023. Reusability Assessment of Obsolete Reinforced Concrete Structural Components, in: Ilki, A., Çavunt, D., Çavunt, Y.S. (Eds.), *Building for the Future: Durable, Sustainable, Resilient*, Lecture Notes in Civil Engineering. Springer Nature Switzerland, Cham, pp. 440–449. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-32519-9\\_42](https://doi.org/10.1007/978-3-031-32519-9_42)
- Direktoratet for byggkvalitetet, 2021. Veiviser: Skal du selge gamle byggevarer? [WWW Document]. URL <https://dibk.no/byggevarer/veileder-for-ombruk-av-byggevarer> (accessed 8.28.23).
- Enova SF, 2015. Rehabilitering og energioppgradering av boliger. Drøfting av begreper og måling av omfang., Enovarapport. Trondheim.
- ENTRA, 2021. Erfaringsrapport ombruk: Kristian August gate 13.
- European Commission, 2021. Taxonomy regulation delegated act 2021-2800. Annex 1.
- Fufa, S.M., Plessner, T., Grytli, T., 2021. Ombruk av gatestein. Kartlegging, prøving, LCA og kostnadsanalyser, SINTEF Fag. SINTEF akademisk forlag, Oslo, Norway.
- Geldermans, R.J., 2016. Design for Change and Circularity – Accommodating Circular Material & Product Flows in Construction. *Energy Procedia* 96, 301–311. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.153>
- Geraedts, R., 2016. FLEX 4.0, A Practical Instrument to Assess the Adaptive Capacity of Buildings. *Energy Procedia* 96, 568–579. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.102>
- Grønn Byggallianse, 2022. BREEAM-NOR v 6.0 for nybygg. Teknisk manual. Grønn Byggallianse, Oslo, Norway.
- GXN/3XN, 2018. Circle House: Danmarks første cirkulære boligbyggeri. KLS PurePrint, Hvidovre, Denmark.
- Habraken, N.J., 1972. *Supports: an alternative to mass housing*. Architectural Press, London.
- Herthogs, P., Debacker, W., Tunçer, B., De Weerd, Y., De Temmerman, N., 2019. Quantifying the Generality and Adaptability of Building Layouts Using Weighted Graphs: The SAGA Method. *Buildings* 9, 92. <https://doi.org/10.3390/buildings9040092>



- Hjellnes Consult AS, 2016. Nordisk miljømerking. Miljømerking av renovering og miljøkartlegging Viktige momenter for vurdering av kriterieutvikling.
- Hradil, P., Fülöp, L., Ungureanu, V., 2018. Assessment of reusability of components from single-storey steel buildings, in: 6th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, IALCCE 2018. CRC Press, Ghent, Belgium.
- Hradil, P., Talja, A., Ungureanu, V., Koukkari, H., Fülöp, L., 2017. Reusability indicator for steel-framed buildings and application for an industrial hall. *ce/papers* 1, 4512–4521. <https://doi.org/10.1002/cepa.511>
- International Organization for Standardization (ISO), 2020. ISO 20887 Sustainability in buildings and civil engineering works — Design for disassembly and adaptability — Principles, requirements and guidance. Geneva, Switzerland.
- Kilvær, L., Sunde, O.W., Eid, M.S., Rydningen, O., Fjeldheim, H., 2019. Forsvarlig ombruk av byggevarer (FoU-prosjekt, for Direktoratet for byggkvalitet).
- Kron, M., Plessner, T., Risholt, B., Stråby, K., Thunshelle, K., 2022. Ombruk av byggematerialer. Veileder for dokumentasjon av ytelser. SINTEF akademisk forlag, Oslo, Norway.
- Langston, C., Smith, J., 2012. Modelling property management decisions using ‘iconCUR.’ *Autom. Constr.* 22, 406–413. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.10.001>
- Langston, C., Wong, F.K.W., Hui, E.C.M., Shen, L.-Y., 2008. Strategic assessment of building adaptive reuse opportunities in Hong Kong. *Build. Environ.* 43, 1709–1718. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.10.017>
- Lappegaard Hauge, Å., Brown, M.K., Rønning, M., Flagstad, I.O.B., Wester Plessner, T.S., 2023. Ombruk av byggevarer – innspill til statlige føringer, SINTEF Fag. SINTEF akademisk forlag, Oslo, Norge.
- Manewa, A., Pasquire, C., Gibb, A., Ross, A., Siriwardena, M., 2013. Adaptable Buildings: Striving Towards a Sustainable Future, in: People and Planet 2013 Conference. Presented at the People and the Planet 2013: Transforming the Future, Global Cities Research Institute, RMIT University, Melbourne, Australia.
- Marmot, A., 2017. Educational Innovation through Building Adaptation. *Archit. Des.* 87, 96–105. <https://doi.org/10.1002/ad.2222>
- McDonough, W., Braungart, M., 2002. Cradle to cradle: remaking the way we make things, 1st ed. ed. North Point Press, New York.
- Miljøverndepartementet, 2013. Fra avfall til ressurs. Avfallsstrategi.
- Moschetti, R., Risholt, B., Bøye Skogstad, H., Time, B., 2022. Ombruk av vinduer – muligheter og utfordringer, SINTEF Notat. SINTEF akademisk forlag, Oslo, Norge.
- Multiconsult, 2008. Veiledning til tilpasningsdyktighet. Byggemiljø. Byggenæringens miljøsekretariat.
- Mysen, M., Aronsen, E., S. Johansen, B., 2014. Gjenbruk av ventilasjonskanaler ved oppgradering til behovstyrt ventilasjon, SINTEF Fag. SINTEF akademisk forlag, Oslo, Norway.
- Mysen, M., Holte, K., Lundevall, T., Landsverk Holst, A.M., 2010. GLITNE. Forslag til Byggenæringens Miljøfond og Tiltaksmodellen, SINTEF Byggforsk. SINTEF akademisk forlag, Oslo, Norway.
- Nordby, A.S., 2020. FutureBuilt kriterier for sirkulære bygg V 2.0.
- Nordby, A.S., 2009. Salvageability of building materials: Reasons, criteria and consequences regarding architectural design that facilitate reuse and recycling, PhD thesis. NTNU.
- Nordby, A.S., Stoknes, S., Aasen, R., Seilskjær, E., Holand Hay, N., 2023. FutureBuilt Sirkulær - kriterier for sirkulære bygg v. 3.0.
- Norwegian Green Building Council - Grønn Byggallianse, 2023. . EUs Taksonomi – Nye Rammebetingelser Bærekraft. URL <https://byggalliansen.no/kunnskapssenter/nye-rammebetingelser-for-baerekraft-i-bygg-og-eiendom/#1647613482065-e8197910-5b9b>
- Nuth Leland, B., 2008. Prosjektering for ombruk og gjenvinning. RIF, Byggemiljø, Husbanken.
- Rakhshan, K., Morel, J.-C., Daneshkhah, A., 2021. A probabilistic predictive model for assessing the economic reusability of load-bearing building components: Developing a Circular Economy framework. *Sustain. Prod. Consum.* 27, 630–642. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.01.031>
- Russell, P., Moffatt, S., 2001. Assessing Buildings for Adaptability. IEA Annex 31.

- Sandberg, E., Kvellheim, A.K., 2021. Ombruk av byggematerialer – marked, drivere og barrierer, SINTEF Notat. SINTEF akademisk forlag, Oslo, Norway.
- Schneider, T., Till, J., 2007. Flexible housing, 1st ed. ed. Architectural Press, an imprint of Elsevier, Amsterdam ; Boston.
- SINTEF Community, 2023. Byggforskserien 700.803 Ombrukskartlegging av bygninger.
- Skaar, C., Fjellheim, K., Stråby, K., Myrland Jensen, T., Slapø, F., Liland Bottolfsen, H., Dobnig, D., Hansen, E., Mork Kummen, T., 2021. Sirkulære byggevarer på Fornebu. ZEN-case om ombruk av byggevarer på Flytårnområdet, Fornebu (ZEN MEMO No. 38), ZEN MEMO.
- Sørnes, K., Nordby, A.S., Fjeldheim, H., Bani Hashem, S.M., Mysen, M., Dahl Schlanbusch, R., 2014. Anbefalinger ved ombruk av byggematerialer, SINTEF Fag. SINTEF akademisk forlag, Oslo, Norway.
- Statistisk sentralbyrå, 2023a. Statistikkbanken, Byggeareal. 05940: Byggeareal. Boliger og bruksareal til bolig, etter bygningstype.
- Statistisk sentralbyrå, 2023b. Statistikkbanken, Byggeareal. 10785: Byggeareal. Avgang av bygninger, etter bygningstype.
- Statistisk sentralbyrå, 2023c. Statistikkbanken, Byggeareal. 11358: Byggeareal. Ombygging til boliger, etter bygningstype.
- Statistisk sentralbyrå, 2023d. Statistikkbanken, Avfallsregnskapet. 10514: Avfallsregnskap for Norge, etter kilde og materialtype.
- Statistisk sentralbyrå, 2023e. Statistikkbanken, Avfall fra byggeaktivitet. 09247: Byggeareal. Genererte mengder avfall fra nybygging, rehabilitering og riving (tonn), etter materialtype 2004 - 2021.
- This is the Urban Mining Index [WWW Document], 2021. URL <https://urban-mining-index.de/en/> (accessed 8.29.23).
- Wærp, S., Holthe, K., 2009. Turn-over rate and environmental load for building materials - Checkpoints in design process. Presented at the SASBE 09 “Building smartly for a changing climate,” Delft, Nederland.
- Wilkinson, S., 2014. The preliminary assessment of adaptation potential in existing office buildings. *Int. J. Strateg. Prop. Manag.* 18, 77–87. <https://doi.org/10.3846/1648715X.2013.853705>
- Wilkinson, S., Yazdani Mehr, S., 2021. A model for assessing adaptability in heritage buildings. *Int. J. Conserv. Sci.* 12, 87–87.



**VISION:**

**«Sustainable  
neighbourhoods  
with zero  
greenhouse gas  
emissions»**



Research Centre on  
ZERO EMISSION  
NEIGHBOURHOODS  
IN SMART CITIES



<https://fmezen.no>