

Sofie Bakke, Kristoffer Koppen Kristensen, Idun
Eide Stavseng

Hulldekker av betong til ombruk

Hollow core slabs for reuse

Bacheloroppgave i Ingeniør, bygg

Veileder: Arne Mathias Selberg

Medveileder: Vegard Grønset

Mai 2023



Sofie Bakke, Kristoffer Koppen Kristensen, Idun Eide
Stavseng

Hulldekker av betong til ombruk

Hollow core slabs for reuse

Bacheloroppgave i Ingeniør, bygg
Veileder: Arne Mathias Selberg
Medveileder: Vegard Grønset
Mai 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for konstruksjonsteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Rapporten er ÅPEN.

Problemdefinering og prosjektbeskrivelse

Hvordan kan ombruk av hulldekke-elementer (HD-elementer) bli et mer attraktivt valg for aktører i byggebransjen? For å svare på dette, kartlegges og analyseres markedet for ombruk av hulldekker. Oppgaven tar i første omgang for seg beregning av laster som virker på et fabrikkbygg i Ålesund, samt dimensjonering av HD-elementer til en seksjon av bygget. Deretter ses det på dagens ombruksmarked, etterfulgt av en kostnads- og miljøanalyse for en spesifikk casestudie. I diskusjonsdelen drøftes resultater fra analysen, før det avslutningsvis fremmes forslag til tiltak som har til hensikt å gjøre ombruk av HD-elementer mer attraktivt for aktører i byggenæringen.

For at oppgavens omfang ikke skal bli for stort, foretas det noen avgrensninger og forutsetninger for beregningene og i forsyningskjeden. Det ses bort fra seismiske laster og funksjonskrav knyttet til brann og akustikk. Videre tas det i kostnads- og miljøanalysen utgangspunkt i casestudien for å få et mer realistisk estimat på kostnadsdifferansen mellom ombruk og tradisjonell utførelse.

Stikkord fra prosjektet:

Ombruk, hulldekker, avfall, bærekraft, klima, EUs klimakommisjon, NS 3682, politiske insentiver, LCA, økonomi, mellomlagring, testing, bearbeiding, påstøp, KA13, donorbygg, sammenføyninger, dimensjonering, spennarmering, CO₂-utslipp

Forord

Denne oppgaven er skrevet i siste semester av det 3-årige byggingeniørstudiet ved Institutt for konstruksjonsteknikk ved NTNU i Trondheim.

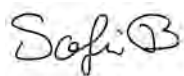
Prosjektgruppen ble etablert som følge av at vi alle jobbet hos Peab K. Nordang sommeren 2022, i tillegg til å ha valgt konstruksjonsteknikk som fordypning ved 5. semester. I løpet av studiet har vi utviklet en interesse for hvordan vi som fremtidige byggingeniører kan bidra til å redusere CO₂-utslippene i byggebransjen. Vi hadde derfor i forbindelse med valg av oppgave, et felles ønske om å se på muligheter for å utvikle bærekraftige løsninger i byggenæringen.

I løpet av prosjektperioden har vi fått god hjelp fra flere aktører, og vi ønsker spesielt å rette en takk til vår eksterne veileder, Vegard Grønstad, som er prosjektleder i Peab K. Nordang. Grønstad har bistått med informasjon om dagens byggeprosesser, samt god veiledning til dimensjonering og kostnadsberegning. Videre vil vi takke konstruksjonssjef i Spenncon, Vegard Alme Ulstein, som har satt av tid til både veiledningssamtaler og omvisning på betongelementfabrikken i Hjørungavåg. Vi ønsker også å takke vår interne veileder, Arne Mathias Selberg, som har inspirert oss til å være trygge i våre beslutninger.

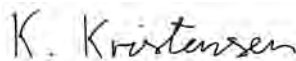
Til slutt vil vi takke hverandre for et godt samarbeid gjennom hele arbeidsperioden; med kunnskap, erfaringer og støtte.

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

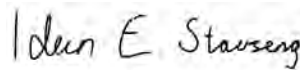
Trondheim, 22. mai 2023



Sofie Bakke



Kristoffer K. Kristensen



Idun Eide Stavseng

Sammendrag

Bygg- og anleggsbransjen bidrar med 15 % av klimagassutslippene og 25 % av avfallsmengden i Norge. Det er ønskelig å undersøke hvordan disse mengdene kan reduseres, og flere rapporter viser at ombruk av bygningsmaterialer kan være en viktig del av strategien for å oppnå dette. Oppgaven har til formål å avdekke drivere og barrierer for ombruk i dag, og basert på disse, *utforme forslag til tiltak som kan gjøre ombruk av hulldekker mer attraktivt for aktører i byggebransjen.*

Denne problemstillingen besvares ved å benytte kvalitative og kvantitative forskningsmetoder. For å få en bedre forståelse av elementenes konstruksjonstekniske egenskaper, utføres det først en dimensjonering av hulldekker i et industribygg. Videre gjennomføres det en markedsanalyse som tar for seg artikler, rapporter og innspill fra relevante aktører i bransjen. Deretter presenteres det en kostnads- og livsløpsanalyse, som begge tar utgangspunkt i en casestudie basert på oppgavens tema. Resultatene fra analysen blir så drøftet, før det konkluderes med flere mulige løsninger på problemstillingen. Avslutningsvis reflekteres det over valg av problemstilling, prosjektets arbeidsprosess og besvarelsens validitet.

Prosjektarbeidet resulterer i fire spesifikke tiltak som er utformet på bakgrunn av momentene som drøftes i diskusjonsdelen. Det første tiltaket innebærer utvikling og etablering av digitale materialbanker, noe som vil gjøre informasjon om brukte hulldekker mer tilgjengelig. Det andre tiltaket handler om å benytte politiske insentiver, som har til hensikt å sikre at aktører i bransjen tør å satse på ombruksløsninger i tiden fremover. Det tredje tiltaket er å etablere flere geografisk spredte lokasjoner for mellomlagring av ombrukelementer. Det fjerde og siste tiltaket går ut på å utvikle reversible sammenføyninger av hulldekke-elementer, slik at de i større grad blir tilrettelagt for senere demontering. Etersom prosjekter har stor variasjon i utførelse og omfang, er det viktig å påpeke at det er krevende å utforme tiltak som involverer hele bransjen.

Basert på denne besvarelsen, konkluderes det med at de fire tiltakene vil øke attraktiviteten til ombruk av hulldekker, som alternativ til nyproduksjon i byggebransjen.

Abstract

The Norwegian construction industry accounts for 15 % of the country's greenhouse gas emissions and 25 % of the total waste generated. These contributions should be reduced, and several reports indicate that reuse of building materials can be a crucial component of the strategy to achieve this. The objective of this thesis is to propose measures that can increase the appeal of reuse of hollow core slabs for entities in the construction industry. The research question is being addressed through the utilization of qualitative and quantitative research methods. To gain a better understanding of the structural properties of hollow core slabs, it is initially performed a design process for them. Subsequently, a market analysis is conducted based on articles, reports, and input from contributors in the industry. Furthermore, cost and life cycle analyses are performed, in which both are based on a case study that addresses the topic of this thesis. The results of the analyses are deliberated upon before reaching a potential solution to the research question. Lastly, the group reflects upon the process of choosing a research question, the progress of the study and the validity of the answers presented.

The study results in four specific measures, which are proposed based on the aspects discussed in this thesis. The first measure entails the development and establishment of digital material banks, which would enhance the accessibility of information about used hollow core slabs. The next measure introduces political incentives with the intention of encouraging industry entities to invest in reuse solutions in the future. The third measure involves establishing geographically distributed locations for intermediate storage of reusable elements. The fourth measure focuses on developing reversible connections for hollow core slabs, enabling greater facilitation of the disassembly of hollow core slabs. It is important to emphasize that designing measures involving the entire industry is highly challenging, given the significant variation in design, execution, and scope of projects.

Based on the results of this thesis, it is concluded that the four presented measures will increase the appeal of reuse of hollow core slabs as an alternative to new production in the construction industry.

Symbolliste

b	bredde
C_e	eksponeringskoeffisient
C_t	termisk koeffisient
D	diameter
g	egenlast
h	høyde
M_{ed}	dimensjonerende moment
M_{Rd}	momentkapasitet
q_k	nyttelast
s_k	karakteristisk snølast på mark
s	snølast
t	tykkelse
V_{Ed}	dimensjonerende skjærkraft
V_{Rd}	skjærkapasitet
W	rissvidde
\emptyset	armeringsdiameter
γ	materialfaktor
μ_i	snølastens formfaktor
$\gamma_{avretting}$	tyngetetthet, avretting
$\rho_{avretting}$	massetetthet, avretting

Begrepsforklaring

I oppgaven brukes det begreper og forkortelser som er bransjespesifikke, og som dermed ikke anses som allment kjente. De kan i tillegg ha flere betydninger avhengig av hvilke kilder som brukes. Det er forsøkt å benytte betydninger som i størst mulig grad samsvarer med begrepsmerkningene i NS 3682. Følgende tabell gir en forklaring på hvordan begrepene skal tolkes gjennom oppgaven:

Begrep/forkortelse	Forklaring
AI	Forkortelse for artificial intelligence (kunstig intelligens)
Aktører	De ulike involverte partene i byggebransjen. Her tar vi særlig for oss tiltakshaver, byggentreprenør, riveentreprenør, produsent og transportør
Avfall	Kasserte materialer, restprodukter og andre gjenstander. Gjennom god kilde-sortering kan avfall gjøres om til ressurser og brukes om eller resirkuleres.
Byggevareforordningen	Fastsetter regler for omsetning og tilsyn av CE-merkede byggevarer
CE-merking	Ordning for å dokumentere at en byggevare er i samsvar med byggevareforordningen og kan fritt omsettes i land innenfor EU/EØS
Demontering	En skånsom form for riving, der man forsøker å hente ut hele elementer uten å skade dem
DiBK	Forkortelse for Direktoratet for byggkvalitet
DOK	Forkortelse for Byggevareforskriften
EBA	Forkortelse for Entreprenørforeningen - Bygg og Anlegg
EPD	Forkortelse for Environmental Product Declaration

Forsyningskjede	Nettverket av virksomheter som bistår i prosessen for vareflyt fra ressursutvinning til produktet er levert hos sluttbruker.
Gjenbruk	Enhver form for tilbakeføring av materialer i en industriell prosess
Gjenvinning	Et overordnet begrep for alt innen forvaltning av avfall
Hulldekke-element/HD-element	Enkeltstående prefabrikkert betongelement
Hulldekke	Dekkekonstruksjon bestående av flere elementer
Konkurransepreget dialog	Oppdragsgiver inviterer et gitt antall aktører til å løse et behov som tilfredsstiller tekniske, økonomiske og juridiske krav. Gjennom dialog med aktørene, optimaliseres hver enkelt løsning. Konkurransen kjøres i flere faser, der aktørene elimineres etterhvert
LCA	Forkortelse for Life Cycle Assessment.
Lettriving	En form for riving der man i første omgang fjerner ikke-bærende konstruksjonsdeler. Lettriving blir også omtalt som stripping av bygg
Nedtygging	Riving av betongkonstruksjoner ved bruk av gravemaskin med grabb som er designet for formålet
NS	Forkortelse for Norsk Standard
Ombruk	Enhver form for ny utnyttelse av et produkt i dets opprinnelige form
TEK	Forkortelse for Byggteknisk forskrift
Tilvirker	Leverandør som gjør brukte HD-elementer montasjeklare

Tabell 1: Begrepsforklaringer

Innhold

Problemdefinering og prosjektbeskrivelse	i
Forord	ii
Sammendrag	iii
Abstract	iv
Symbolliste	v
Begrepsforklaring	vi
Innholdsfortegnelse	viii
Figurer	xii
Tabeller	xiii
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Formål og problemstilling	1
1.3 Oppgavens struktur	2
1.4 Avgrensninger	2
2 Teori	3
2.1 Betong	3
2.2 Mekanikk	8
2.3 Ombruk og gjenbruk	12
2.4 Bærekraft	14
2.5 Lineær kontra sirkulær økonomi	14
2.6 Livsløpsanalyse	15
3 Metode	16

3.1	Kvantitative metoder	16
3.2	Kvalitative metoder	16
3.3	Kvalitative metoder	18
4	Lastberegninger og dimensjonering	20
4.1	Avgrensninger og forutsetninger	20
4.2	Naturlaster	20
4.2.1	Vindlast	20
4.2.2	Snølast	21
4.3	Dimensjonering av hulldekke-elementer	22
4.3.1	Dimensjoneringsgrunnlag	22
4.3.2	Bakgrunn for dimensjoneringsgrunnlag	23
4.3.3	Resultat	24
4.4	Kapasitetskontroll	25
4.4.1	Moment	26
4.4.2	Skjær	26
4.4.3	Riss	27
4.4.4	Nedbøyning	27
5	Analyse	28
5.1	Innledning	28
5.2	Markedsforutsetninger	28
5.2.1	FNs bærekraftsmål	28
5.2.2	Sirkulær økonomi	29
5.2.3	Europeiske krav og føringer	29
5.2.4	Avfallshåndtering	30
5.2.5	EUs taksonomi	31
5.2.6	CE-merking	32
5.2.7	Norske krav og føringer	33
5.2.8	Norsk Standard for ombruk av HD-elementer	35

5.2.9	Ombrukskartlegging	35
5.3	Markedsanalyse	36
5.3.1	Status klimagassutslipp	37
5.3.2	Reduksjon av klimagassutslipp	37
5.3.3	Digitalisering	38
5.3.4	Erfaringsprosjekter	38
5.3.5	Ombruk av hulldekker i praksis	41
5.4	Kostnadsanalyse	44
5.4.1	Ressursbruk	44
5.4.2	Resultater	46
5.5	Miljøanalyse	47
5.5.1	Resultater	48
6	Diskusjon	49
6.1	Ombruk av HD-elementene på prosjektet i Ålesund	50
6.2	Ulike aspekter ved ombruk av hulldekker	50
6.2.1	Reduksjon av klimagassutslipp og avfallsmengde	50
6.2.2	Økonomisk lønnsomhet	52
6.2.3	Praktiske løsninger	56
6.3	Krav og føringer	59
6.4	Norsk Standard for ombruk av HD-elementer	61
6.5	Fremstilling og virkning av forslag til tiltak	61
7	Konklusjon	67
7.1	Valg av tiltak	67
8	Refleksjon	69
8.1	Problemdefinering	69
8.2	Validitet og reliabilitet	70
8.3	Videre arbeid	71

Referanseliste	i
Vedlegg	I
A Artikkel	II
B Poster	IV
C Vindlastberegninger	VI
D Dimensjonering av hulldekker	VIII
E Kostnadsanalyse	XIV
F Livsløpsanalyse	XX
G Kontaktliste	XXII

Figurer

1	Spenning-tøyningskurver	4
2	Spennarmering	6
3	Huldekke	8
4	Skivesystem	9
5	Moment	11
6	Fra lineær til sirkulær økonomi	15
7	Tverrsnitt av HD265	25
8	Utsnitt HD-beregninger	26
9	Momentkontroll	26
10	Avfallspyramiden	31
11	Flytskjema	36
12	Demontering av HD	39
13	Anhuking av HD-elementer	41
14	Kostnadsfordeling, alternativ 1	46
15	Kostnadsfordeling, alternativ 2	47
16	Kraning av HD-element	58

Tabeller

1	Begrepsforklaringer	vii
2	Vindlast	21
3	Dimensjoneringsgrunnlag	23
4	Tverrsnittsdata	25

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Bygg blir ofte omtalt som ”40 %-sektoren”, da den står for 40 % av både energibruk, materialbruk og klimagassutslipp på global basis. I Norge er bransjen ansvarlig for 15 % av utslippene (H. N. Larsen mfl., 2022). Videre bidrar sementproduksjon alene til 8 % av verdens klimagassutslipp (Andrew, 2019). Med tanke på at hulldekker i betong er en av de mest benyttede systemene for etasjeskillere, er det stort potensiale knyttet til å redusere klimagassutslipp i byggebransjen ved å benytte en større andel av elementenes levetid.

I tillegg til å stå for store deler av de nasjonale klimagassutslippene, er byggebransjen ansvarlig for 25 % av Norges årlig genererte avfallsmengde, som er den største andelen blant sektorene i landet (Hatling mfl., 2020). Store deler av dette avfallet stammer fra riving av hulldekker i betong.

Det er et internasjonalt mål at verdenssamfunnet skal være karbonnøytralt innen 2050 (Regjeringen Støre, 2021). For å få til dette, må det etableres et utvidet syn på hva som er ressurser, og hvordan man kan utnytte disse på en mest mulig effektiv måte (Miljødirektoratet mfl., 2020). Ombruk av materialer er sett på som en av de viktigste strategiene for å nå målet om en sirkulær økonomi, og er derfor bakgrunnen for denne oppgaven.

Med bakgrunn i dette, er det ønskelig å se på hvilke tiltak som kan bidra til å redusere utslipp og avfall generert fra bygg- og anleggsvirksomhet. Ombruk av byggevarer kan være et virkemiddel som gir umiddelbar effekt på både klimagassutslipp, råvaremangel og avfallsproblematikk (Fjeldheim mfl., 2019).

1.2 Formål og problemstilling

Opgavens formål er å finne ut *hvordan ombruk av hulldekker kan gjøres mer attraktivt for aktører i byggebransjen*. For å svare på denne problemstillingen, er det

nødvendig å analysere dagens ombruksmarked, og avdekke barrierer og drivere tilknyttet dette. På denne måten kan man se hvilke tiltak og strategier som kan ha innvirkning på ombruksmarkedet i fremtiden.

Gruppen har valgt å skrive oppgave i samarbeid med totaleentreprenøren Peab K. Nordang, som er et datterselskap i Peab-konsernet. Selskapet bedriver hovedsaklig sin virksomhet på nordvestlandet, og tilbyr entrepriser i form av boliger, kaier, broer, næringsbygg, m.m. De er spesialiserte på elementmontasje, og utfører tjenester innen betong, tømring og snekring (Peab K. Nordang, 2023). Kompetansen deres vil være nyttig for å få innsikt i dagens praksis innen montering av HD-elementer, samt gi nødvendig kunnskaps- og erfaringsgrunnlag for å kunne utforme forslag til tiltak.

1.3 Oppgavens struktur

For å svare på problemstillingen, presenteres det først nødvendig bakgrunnsteori. Deretter forklares det hvilke metoder som er benyttet for å belyse temaet. For å få en bedre forståelse av hulldekkers konstruksjonstekniske egenskaper, tas det utgangspunkt i et industribygg i Ålesund for dimensjoneringen. Videre, gjennom markedsanalyse, kostnadsanalyse og livsløpsanalyse, presenteres det ulike faktorer som påvirker ombruk i byggebransjen. Diskusjonen vil avdekke drivere og barrierer for ombruk innen økonomi, prosess, politiske virkemidler og konsekvenser for klima. Deretter konkluderes det med fire virkemidler som vil bidra til å tilgjengeliggjøre ombruk som et alternativ, før det avslutningsvis reflekteres over prosjektets forløp.

1.4 Avgrensninger

For at oppgaven skal ha et fornuftig omfang, foretas det noen avgrensninger og forutsetninger for både beregningene og forsyningskjeden. Det er sett bort fra seismiske laster og funksjonskrav knyttet til brann og akustikk. Videre tar kostnads- og miljøanalysen utgangspunkt i en casestudie, for å få et sammenligningsgrunnlag til fabrikkbygget.

2 Teori

I denne delen presenteres relevant bakgrunnsteori for oppgaven. Teorien har som formål å gi leseren bedre innsikt i temaet og vil gi en grunnleggende kompetanse. Først presenteres teori knyttet til konstruksjonsteknikken, derav materialer, laster og dimensjoneringsgrunnlag. Deretter presenteres teori knyttet til bærekraft og ombruk.

2.1 Betong

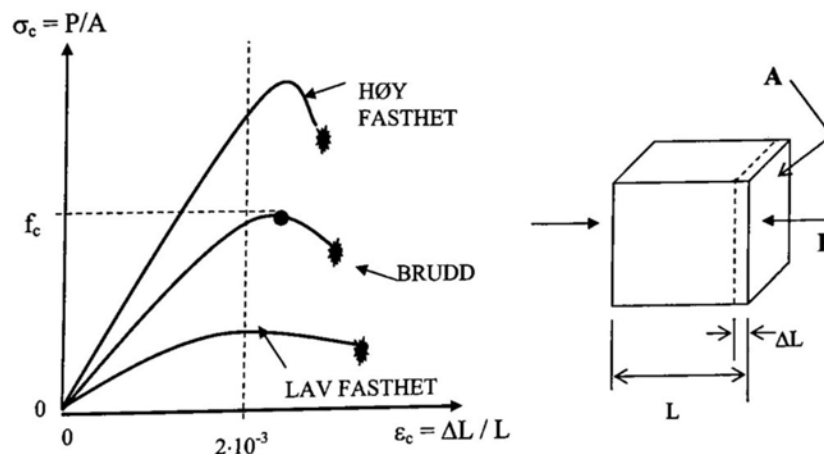
Betong er et solid byggemateriale, har høy brannmotstand, er ikke utsatt for råte, gir god lydisolasjon, har lang levetid og er formbart. Materialet brukes mye i tunneller, havner, broer og bygninger. Betong produseres ved å blande sement, vann, tilslag og tilsetningsstoffer. Tilslaget består av stein-, grus- og sandmaterialer og utgjør opp mot 70 % av den ferdige betongen i massevolum. En av fordelene med den høye andelen tilslag, er at tilslaget kan tas ut fra lokale knusverk. Ved å hente ut tilslaget lokalt, reduserer man mengden materialer som må fraktes over lengre distanser (Sandaker mfl., 2003).

I massevolum består betong av omtrent 60-70 % tilslag, 15-20 % sement, 15-20 % vann og 1-3 % tilsetningsstoff (Maage mfl., 2016). Blandingen av sement og vann kalles sementlim. Limet har som funksjon å binde sammen tilslaget til en fast masse. Forholdet mellom antall liter vann og kilo sement (v/c), bestemmer betongens trykkfasthet. Desto lavere v/c -tall, desto høyere fasthet får den ferdigherdede betongen. Når sementen kommer i kontakt med vann, hydratiserer sementen og skaper bindinger, og blandingen går over til å bli en fast masse. For at sementen skal hydratisere tilstrekkelig, bør v/c -tallet være minimum 0,4 (Thue, 2023). v/c -tall høyere enn 0,6 er ikke ønskelig, da dette øker permeabiliteten og betongen blir mindre frostbestandig.

Tilsetningsstoffer benyttes for at betongen skal oppnå ønskede egenskaper. Pozzolaner kan tilsettes for å redusere mengden sement, noe som gir lavere klimagassutslipp. Pozzolaner bidrar til økt styrke, tetthet og bestandighet. Det finnes tilsetningsstoffer

som gjør det mulig å støpe i minusgrader, redusere herdetiden, hindre separasjon, gi farge, minimere svinn og som får betongen til å ekspandere (Sandaker mfl., 2003).

Betong har en ikke-lineær spenning-tøyningsoppførsel i trykk. Det vil si at den ikke komprimeres lineært ved økende last. Betongen har mye lavere fasthet mot strekk enn mot trykk. I beregninger av betongkonstruksjoner antar man derfor at betongen ikke kan ta opp strekkrefter, noe som løses ved å legge inn armering. I konstruksjoner ønsker man duktile brudd, altså at man får synlige deformasjoner før et brudd oppstår. Lav betongfasthet gir seig oppførsel og duktile brudd. Høy betongfasthet gir sprøbrudd, med lite forvarsel. For å oppnå duktile brudd, legges det armering av stål i strekksonen av konstruksjonen. Den vanligste armeringen i Norge har typebetegnelse B500NC og har karakteristisk fasthet $f_{yk} = 500; MPa$ (Sørensen, 2013).



Figur 1: Spenning-tøyningskurver for betong i trykk (Sørensen, 2013)

Produksjon av betong er svært energikrevende og utgjør en vesentlig andel av totalt klimagassutslipp på globalt nivå. Det er særlig produksjonen av sement som fører til høye utslipp, da det krever høye temperaturer. For å produsere sement, knuser man kalkstein og utsetter denne for temperaturer rundt 1450 grader celsius i roterende ovner. Etter kalksteinen er omgjort til klinker i ovnen, tilsettes det gips og massen kvernes opp til sement. ”Bransjereferansens betong” slipper ut mellom 280 og 430 kg CO₂ per kubikk, for fasthetsklasser fra B20 til B55. For samme intervall av klasse

”Lavkarbon A” er øvre grense for utslippene mellom 170 og 250 kg per kubikk (Norsk Betongforening, 2020).

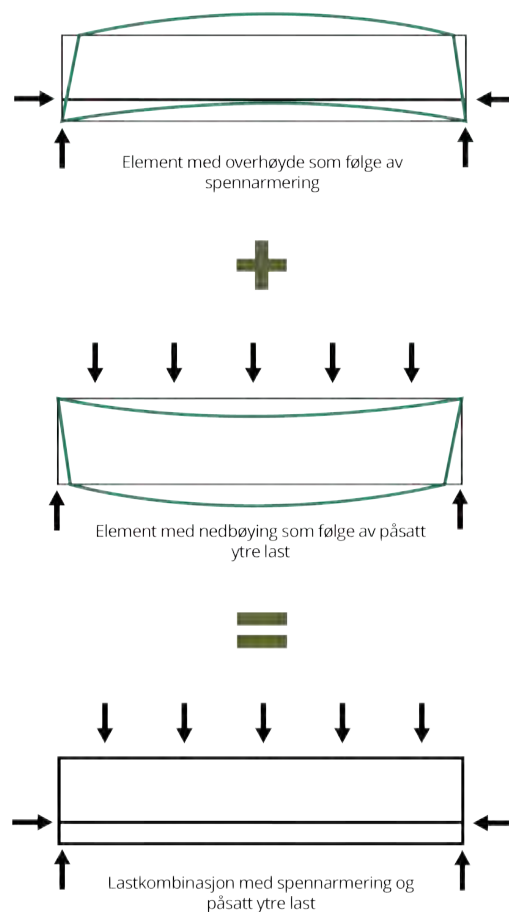
2.1.1 Prefabrikkerte betongelementer

Prefabrikkerte betongelementer er en fellesbetegnelse på elementer som er støpt på fabrikk. Slike fabrikker produserer elementer etter spesifikke bestillinger, der enkelte mål ofte er standardiserte for å skape en effektiv produksjon, i tillegg til å gjøre prosjektering og montasje enklere. Elementene armeres enten med tradisjonell armering (slakkarmering) eller spennarmering. For dekker og bjelker er det vanligst med spennarmering, da det på denne måten oppnås slankere konstruksjoner. Dette er gunstig fordi slankere konstruksjoner gir et lavere forbruk av betong (se del 2.1.2). Etter støping vibreres den ferske betongen. Dagen etter fjernes forskalingen, før den fraktes til midlertidig lager for videre herding.

Fordelen med prefabrikkert betong er at produksjonen foregår under mer kontrollerte omgivelser enn på byggeplass, noe som gjør at elementene stort sett støpes med små avvik. Videre gir prefabrikkert betong store tidsbesparelser på byggeplass. Man sparer tiden det vanligvis tar å forskale, armere, støpe dekket og la betongen herde.

2.1.2 Spennarmering

Spennarmering, også kalt forspenning, er en fellesbetegnelse på en armeringsmetode for prefabrikkerte elementer. Formålet med spennarmering er å påføre en trykkraft i betongen som er motsatt rettet av de spenningene som oppstår når konstruksjonsdelen blir belastet under bruk (se Figur 2). Bruk av spennarmering gir mindre nedbøyning enn ved slakkarmering, noe som tillater bruk av slankere konstruksjoner. Årsaken til dette, er at spennarmeringen som regel ikke ligger i betongtverrsnittets nøytralakse. Kraften påført av armeringen skaper dermed et moment som forårsaker en krumning (overhøyde) i betongelementet (Sandaker mfl., 2003). Man skiller mellom to typer forspenning, der den ene kalles førøppspenning og den andre kalles etterøppspenning.



Figur 2: Spennarmering

2.1.2.1 Førøppspenning

Ved førøppspenning påføres spennstålet strekk *før* betongen støpes ut i direkte kontakt med stålet. Denne metoden for forspenning er vanlig for spennbetong-elementer som produseres på fabrikk. Selve oppspenningen foregår ved at stålet jekkes til og låses mellom to motholdskonstruksjoner, med en kraft som tilsvarer tøyningdifferansen mellom betong og armering. Når betongen er tilstrekkelig herdet, blir stålet kappet og vil på grunn av sine elastiske egenskaper forsøke å gå tilbake til sin opprinnelige form. Heften mellom betongen og stålet forhindrer dette, og påfører dermed betongen den tiltenkte trykkraften (Sandaker mfl., 2003).

2.1.2.2 Etteroppspanning

Ved etteroppspanning påføres spennstålet strekk *etter* betongen støpes ut. Her vil armeringen ligge fritt i, eller tres gjennom utsparingskanaler som er plassert ut før utstøping. Når betongen er tilstrekkelig herdet, spennes stålet opp ved å bruke selve konstruksjonen som mothold. Ved denne metoden vil det dermed ikke oppstå noen form for heft mellom betongen og stålet før armeringen er ferdig oppspent, med mindre man støper rundt den passive forankringen i ene enden av armeringen. Etter armeringen er tilstrekkelig oppspent, injiseres som regel utsparingskanalene med mørtel for å skape heft mellom armering og betong. Dette sørger for at tøyningsdifferansen blir lik i samme nivå av tverrsnittet, slik at den etteroppspente konstruksjonen nå vil oppføre seg på samme måte som en før oppspent konstruksjon (Sørensen, 2013).

2.1.3 Hulldekker

Prefabrikkerte hulldekker av betong er elementer som er beregnet for bruk i etasjeskillere og tak. Hulldekker er den mest brukte dekkeskiven i Norge i dag (Betongelementforeningen, 2011). HD-elementene har gjennomgående, runde kanaler i midtsjiktet langs spennretningen, som vist i Figur 3. Dette sørger for at man oppnår lav vekt i forhold til styrke og stivhet, i tillegg til et lavere forbruk av betong. Som følge av at man ved bruk av hulldekker utnytter betongen godt, kan det oppnås en reduksjon av CO₂-avtrykk på opp mot 50 % (Betongelementforeningen, 2020).

Videre har HD-elementer en plan underside som gir fordeler ved montasje av tekniske installasjoner i himling. Disse egenskapene, i tillegg til at de kan brukes i spenn på opptil 18-20 meter uten andre former for understøttelse, gjør at HD-elementer har blitt svært populære til bruk i kontor- og industribygg (Spenncon AS, 2023). HD-elementer utføres med før oppspanning, der spennstålet legges i lengderetningen av elementet.



Figur 3: Hulldekke (Spenncon AS, 2023)

Under montering av hulldekker skjøtes elementene sammen med fugestøp og armering for at dekket skal opptre som en stiv skive (se del 2.2.1). Over hulldekket legges det gjerne en støp eller et tilfarersystem. Et tilfarersystem legges direkte på hulldekket og justerer skjevheter, i tillegg til at det har trinn- og luftlydreduserende egenskaper. Avretting, samvirke- og konstruktiv påstøp benyttes for å jevne ut overflaten før videre arbeid på gulv. En avretting legges i tynnere lag enn en konstruktiv påstøp, og skal i all hovedsak rette ut gulvet. Avrettingsmasse er svært tyntflytende og selvnivellerende. En konstruktiv påstøp skal fungere som en del av bæresystemet, og bidrar med stivhet til den horisontale skiven. En konstruktiv påstøp har gjerne tykkelse mellom 60 og 100 mm. En samvirkestøp krever heft mellom støp og hulldekke, slik at disse sammen skal ta opp de nødvendige kreftene (V.A. Ulstein, personlig kommunikasjon, 21.02.2023). Med tanke på ombruk, er det gunstig at det kun ligger en tynnavretting over hulldekket, da dette ikke vil gi særlig forhøyet egenvekt og kan støpes over. En konstruktiv påstøp må fjernes før hulldekket kan brukes på nytt, noe som er tidkrevende og bærer ekstra kostnader.

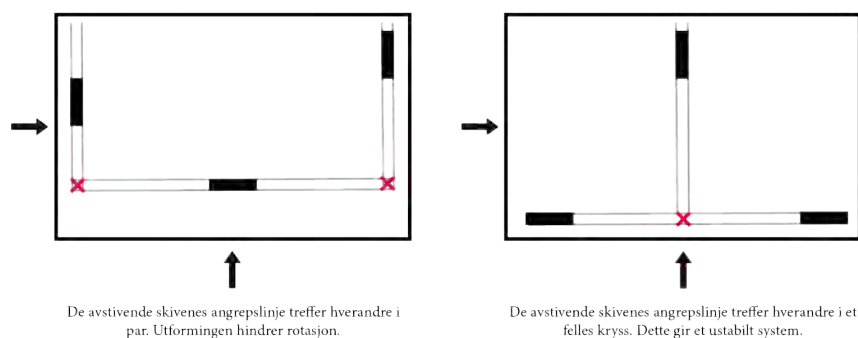
2.2 Mekanikk

2.2.1 Bæresystem

Bæresystemet har som funksjon å overføre opptredende laster til fundamentene, der de igjen tas opp i løsmasser eller fjell. Valg av bæresystem avhenger av funksjonskrav, estetisk hensyn, grunnforhold og økonomi (P. K. Larsen, 2008). Dersom

bygningssdelene i konstruksjonen er i stabil likevekt og kan motstå påførte krefter, har man et stabilt konstruksjonssystem. Det statiske systemet består av horisontale, vertikale og avstivende elementer. Det stilles ulike krav til støydemping, vibrasjonsdemping, brukslastkapasitet og takhøyde, etter hva konstruksjonen skal brukes til. Dette påvirker materialvalg og valg av statisk system.

De vertikale elementene overfører trykkrefter til grunnen, og består av bærende vegger og søyler. De horisontale elementene, som bjelker, vindfagverk og skiver, tar opp de ytre lastene og fordeler disse gjennom konstruksjonen og videre ned i grunnen. De horisontale kreftene på en konstruksjon på land er stort sett forårsaket av vind. De avstivende elementene har som funksjon å overføre momenter fra de horisontale kreftene. Rammesystem, skivesystem og kombinasjonssystemer er ulike avstivningssystemer. Et skivesystem har horisontale skiver som er opplagt på vertikale skiver og sjakter (Betongelementforeningen, 2020). Ved å la det horisontale dekket opptre som en stiv skive, vil det kun ta opp krefter i planet. Disse kreftene, moment og skjærkraft, blir videre overført i de vertikale avstivende elementene. Kraftene føres deretter videre i fundamentene og ned i grunn. For å få et statisk bestemt avstivningssystem og at konstruksjonen skal motstå translasjon og rotasjon, må det være minimum tre vertikale skiver i konstruksjonen. For å hindre rotasjon, må de vertikale skivene være plassert slik at angrepslinjene deres ikke møtes i et felles kryss (Betongelementforeningen, 2020). Et rammesystem/skjelettsystem består av bjelker og søyler som er bundet sammen. Alle forbindelsene er ikke nødvendigvis momentstive, selv om det gjerne er det som forbindes med rammer som konstruksjonsdel. Et kombinasjonssystem kombinerer elementer fra ramme- og skivesystem.



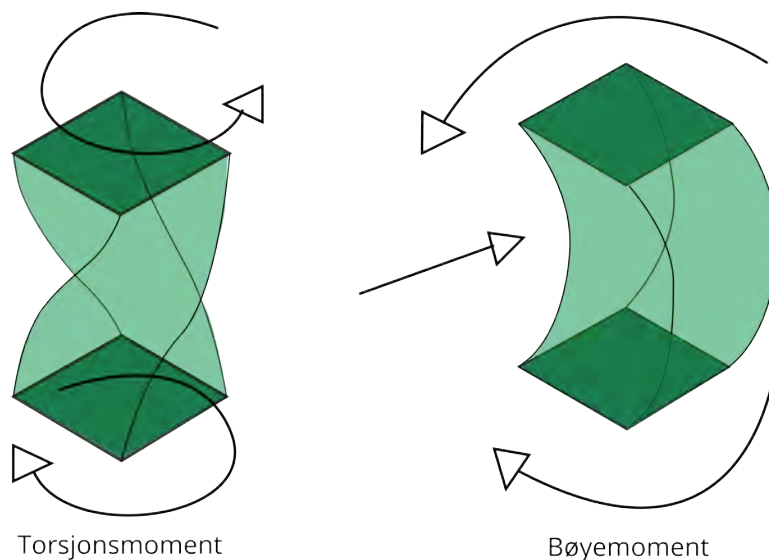
Figur 4: Skivesystem

2.2.2 Laster

I konstruksjonsteknikk skilles det mellom permanente og variable laster. Eksempler på permanente laster er egenvekt og jordtrykk. Disse lastene er permanente gjennom konstruksjonens levetid. Variable laster varierer med bruken av bygget, og består av alt fra naturlast, mennesker, varer, maskiner og kjøretøy. Snølast, vindlast og seismiske laster faller under kategorien naturlast og er geografisk betinget. Konstruksjoner kategoriseres etter brukskategorier som arealer for hjemmeaktiviteter, kontorarealer, garasje- og trafikkarealer for kjøretøy, arealer for lagring og næringsvirksomhet og tak. Disse brukskategoriene gir forskjellige nyttelaster som legges til grunn for dimensjonering av konstruksjonen om man følger Eurokode. Nyttelastene er oppgitt i *Eurokode 1: Laster på konstruksjoner* (Standard Norge, 2019).

2.2.3 Moment

Dersom en kraft settes på et punkt med en eksentrisitet, vil det oppstå et moment (se Figur 5). Momentet er avhengig av størrelse på kraften og lengden på momentarmen (Bell, 2014). Momentarmen er avstanden mellom angrepslinjen til kraften og punktet kraften virker om. Momentarmen står vinkelrett på angrepslinjen. Innen konstruksjonsteknikk er man ofte ute etter å beregne en komponents evne til å ta opp moment i form av bøyning og torsjon. Dette kalles for komponentens momentkapasitet. For en bjelke oppstår bøyemoment ved at man får en momentarm mellom opplager og laster. Dersom man tar et snitt i bjelken, vil bøyemomentet føre til bøyepenninger om tverrsnittets nøytralakse. I nøytralaksen er spenningen lik 0 og viser skillet mellom strekk og trykkspenninger over tverrsnittet. En fritt opplagt bjelke påsatt en nedadrettet vertikal last midt i felt, vil få strekk på undersiden og trykk på oversiden. Torsjonsmoment virker om bjelkens lengdeakse. Torsjonsmomentet gir vridning om lengdeaksen og gir skjærspenninger i tverrsnittet.



Figur 5: Moment

2.2.4 Aksialkraft

Aksialkrefter virker normalt på elementets tverrsnitt. For å finne aksialkraftens størrelse og retning tar man horisontal kraftlikevekt av et snittet element (Bell, 2014). Aksialkraft kan gi trykkspenninger og strekkspenninger avhengig av aksialkraftens retning.

2.2.5 Skjærkraft

Vertikal kraftlikevekt gir skjærkraften som virker parallelt med tverrsnittet. Dersom man snitter et element, vil skjærkraften være motsatt rettet og ha lik størrelse som summen av opplagerkreftene og påsatte laster i vertikal retning. Skjærkraften gir skjærspenninger i tverrsnittet (Bell, 2014).

2.2.6 Rissvidde

Riss forekommer som resultat av deformasjoner, fastholding eller belastninger. For betongkonstruksjoner som utsettes for bøyning, skjær, torsjon eller strekk, er det vanlig at opprissing skjer. *Plastisk svinn* er en form for deformasjon der betongen krymper underveis i herdeperioden, som kan forårsake store riss. For å begrense

rissvidder, kreves det en minimumsmengde med armering i områder der det kan oppstå strekk (Standard Norge, 2021).

2.2.7 Nedbøyning

Nedbøyning er en type deformasjon av en konstruksjonsdel. Nedbøyning avhenger av bøyemomentet, lengden av elementet, elastisitetsmodulen og andre arealmoment. For at en konstruksjon skal opprettholde funksjon og utseende, settes det ofte en grense for maksimal nedbøyning lik $L/250$, der L er spennvidden oppgitt i millimeter (*NS-EN 1992-1-1, 7.4.1 (4)*).

2.2.8 Bruks- og bruddgrensetilstand

I bruddgrensetilstand dimensjonerer man elementer etter ulykkessituasjoner og for vedvarende og forbigående situasjoner. Størrelsen av permanente og variable laster vil påvirke hvilke lasttilfeller som er dimensjonerende (P. K. Larsen, 2008). I bruddgrensetilstand tilføres lastene lastfaktorer, og det sjekkes at kapasiteten for aksialkraft, bøyningsmoment, skjær og torsjon er tilstrekkelig.

I bruksgrensetilstand ser man på situasjoner med karakteristiske laster, med mindre det settes krav til kombinasjonsfaktorer etter *NS-EN 1990, tabell A1.4*. I bruksgrensetilstand ser man på egenlast og nyttelast. Egenlasten avhenger av materiales tyngdetetthet og masse. For nyttelaster finnes det standardiserte verdier for ulike brukskategorier. I bruksgrensetilstand er man ute etter å begrense horisontale og vertikale forskyvninger, samt dynamiske virkninger, derav riss-, nedbøyning- og spenningsbegrensinger (Standard Norge, 2021).

2.3 Ombruk og gjenbruk

Ombruk bruker man om den eksakte byggevaren uten å gjøre vesentlige endringer på den. Varen kan likevel vaskes, renses og overflatebehandles, slik at den er klar-gjort for ny bruk. For ombruk av byggevarer til en konstruksjon, må egenskapene

dokumenteres før varen eventuelt kan omsettes, slik at konstruksjonen tilfredsstiller nødvendige krav om sikkerhet. Varer som dører, lettvegger og vinduer kan også brukes om uten å gjøre endringer. Ved å bruke om byggevarer reduseres utslipp, og man sparer på naturressursene.

Gjenbruk vil si at man bruker om materialer fra avfall til produksjon av nye varer. Ved gjenbruk, vil man gjennom tilbakeføring av materialer fra avfall, kunne bruke materialene til både sine opprinnelige formål, eller til noe annet. Eksempler på gjenbruk er trematerialer som brukes om igjen i sponplater, gips som kvernes opp og brukes i nye gipsplater, og betong som knuses for å brukes som tilslag. Ved gjenbruk sparer man på naturressursene, og hindrer å hente ut nye råstoff. Likevel prosesseres materialene på nytt, noe som bidrar til utslipp.

2.3.1 Donorbygg

Et bygg som er planlagt ombygd eller revet og gir fra seg byggevarer, kalles et donorbygg. Fra donorbygg kan man hente ut alt fra betongelementer, vinduer, ventilasjonskanaler, dører, gulvspon og takstein. Et donorbygg legger til rette for en *sirkulær økonomi* (se del 2.5), ved at materialene får nytt liv selv om konstruksjonen skal fjernes.

2.3.2 Ombrukssentral

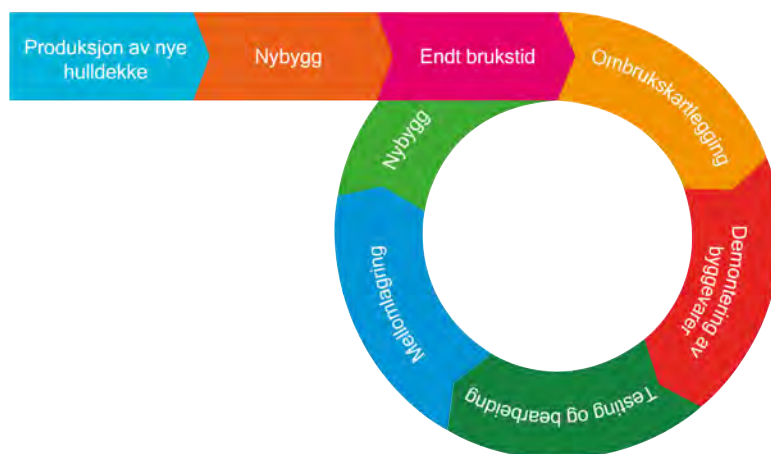
En ombrukssentral er et stort lagerområde, innendørs og/eller utendørs, som lagrer brukte byggevarer. På Økern i Oslo er det iverksatt et pilotprosjekt, Ombygg, som tilbyr mellomlagring av byggevarer, videreformidling og salg av donerte byggevarer (Ombygg, 2023a). Tjenesten gjør det enklere for aktører å bruke om materialene sine eller kjøpe brukt. Tilgangen til arealer er gjerne mangelfull, da man som regel ikke kan lagre materialer på byggeplass over lengre tid. Noen byggevarer må også lagres innendørs, på grunn av bestandighetsklasse eller egenskaper knyttet til fukt.

2.4 Bærekraft

I rapporten "Vår felles framtid", utgitt i 1988, definerte Brundtlandkommisjonen bærekraftig utvikling som "... en utvikling som sikter mot å dekke nåtidens behov og målsetninger uten å sette evnen til å dekke framtidens behov i fare." (Brundtlandkommisjonen, 1988). Transportering, produsering, vedlikehold og riving er prosesser som bistår med utslipp i bransjen. Bedre materialutnyttelse, energieffektivisering, redusert avfallsmengde og tilrettelegging for ombruk, er bærekraftige tiltak som reduserer utslippene i bransjen.

2.5 Lineær kontra sirkulær økonomi

At økonomien er lineær vil si at inntektene øker med produksjonen frem til markedslikevekt. Desto flere produkter man selger, desto mer tjener man. I lineær økonomi ønsker man å produsere flest mulige varer, hyppigst mulig. I sirkulær økonomi må bedriftene legge opp til en annen forretningsmodell. Forretningsmodellen innebærer hvem kunden er, hva produktet er, hvordan kunderelasjoner skal opprettholdes, målgruppe og hvordan selskapets verdier skapes. En god og sirkulær forretningsmodell må holde på kundene sine, skape vekst til selskapet og ha en bærekraftig produksjon. For å oppnå en bærekraftig forretningsmodell bør produsenten sørge for lang levetid på sine produkter, der kunden vil ha et ønske om å returnere produktet etter endt bruk slik at ressursene kan brukes om. Eksempel på bærekraftige forretningsmodeller er flaskepant-ordningen og diverse leasing-ordninger. Overgangen fra en lineær til en sirkulær økonomi for ombruk av byggevarer kan ses i figur 6.



Figur 6: Fra lineær til sirkulær økonomi

2.6 Livsløpsanalyse

For å sammenligne miljøegenskapene til produkter, kan man benytte en livsløpsanalyse (LCA). En LCA tar høyde for hele levetiden til et produkt, fra ressursutvinning til kassering. Analysen tar både for seg de direkte ressursene som kreves for driftning av produktet, og de indirekte prosessene (Bakshi, 2019). Dersom en bil skal kunne kjøre en kilometer, kreves drivstoff direkte. Indirekte utslipp knyttes til produksjon og vedlikehold av bilen per kilometer i dens levetid, utvinning og transport av materialene, drivstoff, bygging og vedlikehold av veien, trafikketater, politi og helsetjenester. LCA tar for seg miljøpåvirkning i form av utslipp til luft, vann og jord, energiforbruk og avfall. Resultatene gir en pekepinn på hvilke byggevarer som er lønnsomme og samtidig kan gjøre det enklere å ta bevisste, bærekraftige valg.

3 Metode

I oppgaven brukes det *deduktiv metode* for å finne svar på problemstillinger knyttet til ombruk. Deduktiv metode kan enkelt forklares ved at man utvikler en teori gjennom litteraturstudier som man tester, og deretter får bekreftet eller avkreftet. I tilnærmingen til oppgavens problemstilling, er det brukt både *kvalitative* og *kvantitative* metoder.

I oppgaven samles det først inn relevant litteratur om hvordan markedet for ombruk er i dag. Videre hentes det inn informasjon fra relevante aktører som har erfaringer og innsikt fra bruk og ombruk av betongelementer. Gjennom resultater fra dimensjonering, markedsanalyse, kostnadsanalyse og en livsløpsanalyse, diskuteres det frem relevante tiltak for å øke interessen for ombruk av hulldekker.

3.1 Kvantitative metoder

Kvantitative data presenteres gjerne ved tallverdier, noe som gjør at resultatene mer håndfaste. Kvantitative analyser er gjerne mer tidkrevende enn kvalitative, og krever større omfang for å gi gode indikasjoner.

3.2 Kvalitative metoder

I motsetning til kvantitative data, består kvalitative data av tekst. I kvalitative metoder er man ute etter å få frem holdninger, tanker og meninger om et konkret tema. Siden ombruk er et relativt nytt konsept i byggebransjen, er det interessant å høre hvilke holdninger og tilnærminger til ombruk aktørene i bransjen har.

3.2.1 Kostnadsanalyse

Gjennom dialog med flere aktører i næringen, hentes det inn prisanslag for flere prosesser i forsyningskjeden for ombruk. En kostnadsanalyse gjør det mulig å sammenligne ulike prosesser opp mot hverandre, i tillegg til å gi en pekepinn på lønnsomhet

for valg av ombruk. I oppgaven utføres det en sammenligning av kostnader mellom riving og deponering av HD-elementer, opp mot ombruk av HD-elementer. Videre ses det på hvordan kostnadene fordeles på eier av donorbygg og eier av nybygg.

3.2.2 LCA

En LCA gir de totale utslippene for et produkts levetid (se del 2.6). Analysen tar for seg alle prosesser fra ressursutvinning og frem til produktet kasseres. I analysen ses det på forskjellen mellom ombruk og innkjøp av nye hulledekker - av vanlig betong og ulike typer lavkarbonbetong. I miljøanalysen settes de ulike betongtypene opp i et regneark og sammenlignes. Tallverdier for utslipp hentes fra ulike produkters EPD-er. I byggebransjen produseres en EPD per type byggevare ut fra en LCA, der verdier for klimagassutslipp og annen type forurensing som materialet gir, blir fremstilt basert på prosess for det enkelte materialet.

3.2.3 Dimensjonering

For dimensjonering av HD-element, er det tatt utgangspunkt i de europeiske standardene for prosjektering av byggverk og dokumentasjon av produkters bæreevne. Ved å følge Norsk Standard og veiledninger i Eurokode, oppfyller man krav om preaksepterte ytelser etter forskrift om tekniske krav til byggverk (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2023). Forskriften stiller krav til konstruksjonssikkerhet, derunder at konstruksjonen skal ha tilfredsstillende motstand mot brudd, og tilstrekkelig stabilitet og stivhet for laster som kan oppstå under konstruksjonens levetid.

De ytre lastene beregnes for hånd med tabellverdier og formler fra *NS-EN 1991 1: Laster på konstruksjoner*. For beregning av snølast og vindlast, blir henholdsvis del 1-3: *Allmenne laster - snølast* og del 1-4: *Allmenne laster - Vindlast* benyttet. Lastverdier påvirkes av geografisk beliggenhet, høyde over havet og terreng, og finnes i standardene. Til dimensjonering av hulledekkene blir det benyttet programvaren "Ove Sletten", som er et beregningsprogram for betongkonstruksjoner. Programmet er også basert på metoder fra Eurokoden. Dimensjoneringen tar utgangspunkt i

de ytre lastene og nyttelaster oppgitt i produksjonstegningene til fabrikkbygget i Ålesund.

3.3 Kvalitative metoder

I motsetning til kvantitative data, består kvalitative data av tekst. I kvalitative metoder er man ute etter å få frem holdninger, tanker og meninger om et konkret tema. Siden ombruk er et relativt nytt konsept i byggebransjen, er det interessant å høre hvilke holdninger og tilnærminger til ombruk aktørene i bransjen har.

3.3.1 Intervjuer og personlig kommunikasjon

Et intervju kan være enten kvalitativt eller kvantitativt. Et kvantitativt intervju består gjerne av en spørreundersøkelse med avkryssninger og rangeringer. Intervjuobjektet gir målbare svar i form av tallsvar eller ”ja/nei”-svar som enkelt kan systematiseres. I et kvalitativt intervju derimot, er man mer interessert i dialog og stiller åpne spørsmål som lar intervjuobjektet svare grundigere. Personlig kommunikasjon innebærer e-poster, samtaler og møter. Ved personlig kommunikasjon kan man få innspill fra aktører som har erfaring med montering, demontering, produksjon og ombruk av hulldekker. Personlig kommunikasjon tilgjengeliggjør erfaringer som ikke er allment kjent og oppgitt i kilder.

3.3.2 Litteraturstudie

Et litteraturstudie kan beskrives som en systematisk kartlegging av et tema fra skriftlige kilder. Eksempler på kilder som er brukt til oppgaven er bøker, forskrifter, rapporter, standarder og artikler. For å få tilstrekkelig tyngde i teoridelen, forankres teorien i pensum fra tidligere emner fra byggingeniørstudiet. Store deler av pensumbøkene er rangert til nivå 1 i kanalregisteret, noe som regnes som vitenskaplige publikasjoner og har fire kriterier: de presenterer ny innsikt, gir etterprøvbare resultater, har tilgjengelig språk og distribusjon, og er utgitt i en publiseringskanal med rutiner for fagfelleevaluering.

I analysen hentes det inn informasjon gjennom rapporter og artikler, for å finne ut hvilke produkter og tjenester som leveres i dagens marked. Ombruk av hulledekker er ikke allmenn praksis, og det er få kvalitetssikrede kilder, noe som krever kritisk tenkning og kildebruk.

4 Lastberegninger og dimensjonering

4.1 Avgrensninger og forutsetninger

I dimensjoneringen vil det bli sett bort fra seismiske laster og funksjonskrav knyttet til brann og akustikk. Videre har kun HD-elementene med størst spennvidde blitt dimensjonert, siden de mest kritiske belastningene vil opptre her. Grunnen til dette er at ved en jevnt fordelt last på en fritt opplagt bjelke, vil momentets størrelse være direkte avhenging av elementets lengde. Det har ikke blitt tatt hensyn til horisontale skjærkrefter i dekket, så det er sett bort fra eventuelle strekkbånd. I tillegg er det sett bort fra eventuelle utsparinger i hulldekket. Avgrensningene er foretatt for at oppgavens omfang ikke skal bli for stor.

I dimensjoneringen er det tatt utgangspunkt i "Blindheim Eiendom - fabrikkbygg", som er et pågående prosjekt i Ålesund og utføres av Peab K. Nordang. Bygget har en grunnflate på 66 x 25 meter, og en høyde på 10 meter. Bæresystemet til taket i fabrikkens er utført med fagverksbjelker i stål, mens det er benyttet betongelementer som bærevegger. I det nordvestlige hjørnet av bygget er det en egen seksjon som består av kontorer, kjøkken, garderober, toaletter og teknisk rom. Seksjonens bærende system er utført med HD-elementer og stålsøyler.

4.2 Naturlaster

4.2.1 Vindlast

Beregninger av vindlast har blitt utført for hånd, og er vist i Vedlegg C. For å beregne lastverdiene er det blitt brukt *NS-EN 1991-1-4: Norsk Standard for beregning av vindlast*. Resulterende verdier for vindlast er ført opp i Tabell 2.

Vind på	Kraftvirkning	Verdi [kN/m^2]
Langside	Langside	0,72
	Kortside	-1,08
Kortside	Langside	-1,08
	Kortside	0,63

Tabell 2: Vindlast

Tabell 2 består av tre kolonner der kolonnen til venstre viser hvilken side av bygget vinden treffer. Den midtre kolonnen viser hvilken påvirkning vinden har på henholdsvis langsiden og kortsiden. Kolonnen til høyre viser kraftpåvirkning i kN/m^2 . Positiv verdi viser at bygningsdelen er utsatt for trykk, og negativ verdi viser at det virker sug på bygningsdelen.

4.2.2 Snølast

Beregninger for snølast har blitt utført i henhold til *NS-EN 1991-1-3*. Denne standarden tar utgangspunkt i at karakteristisk snølast på mark har en sannsynlighet på 0,02 for overskridelse i løpet av et år.

Karakteristisk snølast på mark, s_k , bestemmes etter *Nasjonalt Tillegg NA*. Bygget har en høyde over havet, H , som er lavere enn høydegrensen, H_g . Karakteristisk snølast bestemmes derfor direkte fra *Tabell NA.4.1 (901)* for Ålesund kommune, og settes lik grunnverdien $S_{k,0}$ lik $3,0 kN/m^2$.

Snølast på tak, s , beregnes fra standarden etter ligning (5.1)

$$s = \mu_i C_e C_t s_k$$

der:

-
- μ_i er snølastens formfaktor
- C_e er eksponeringskoeffisienten
- C_t er den termiske koeffisienten
- s_k er karakteristisk snølast på mark

Snølastens formfaktor, μ_i , settes lik 0,8 etter Tabell 5.2 i NS. Både eksponeringskoeffisienten og den termiske koeffisienten settes konservativt lik 1,0 etter Tabell 5.1 og punkt 5.2 (8).

Dimensjonerende snølast på tak blir dermed

$$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 3,0 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{2,4 \text{ kN/m}^2}$$

Ifølge nasjonal merknad på side syv i standarden, behandles ikke eksepsjonelle snølaster spesielt i Norge. Dette blir det derfor sett bort i fra i beregningene.

4.3 Dimensjonering av hulldekke-elementer

4.3.1 Dimensjoneringsgrunnlag

Grunnlaget for dimensjoneringen er til dels hentet fra tegningsgrunnlaget til fabrikkbygget i Ålesund. Andre verdier er bestemt på grunnlag av *NS-EN 1992-1-1, EC2: Prosjektering av betongkonstruksjoner*, mens resterende verdier er beregnet for hånd, eller ved bruk av beregningsverktøyet Ove Sletten. Forutsetninger som er lagt til grunn for dimensjoneringen av HD-elementene er oppført i Tabell 3. Det er gjort antagelser og beregninger for verdiene som er oppført i tabellen. Begrunnelsene for disse ligger i del 4.3.2.

Dimensjoneringsgrunnlag	
Egenlast HD265	$g_{HD} = 3,7 \text{ kN/m}^2$
Påført egenlast	$g_{tillegg} = 1,3 \text{ kN/m}^2$
Oppgitt nyttelast	$q_k = 5,00 \text{ kN/m}^2$
Spennvidde	10 350 mm
Opplegg	Fritt opplegg i begge ender
Minste effektive oppleggsbredde	137 mm
Avretting over HD	Gjennomsnittstykkelse $t = 40 \text{ mm}$
Betongkvalitet HD	B45
Fasthetsklasse sement	R
Eksponeeringsklasse	XC1
Materialfaktor ULS betong	$\gamma_c = 1,5$
Materialfaktor ULS spennstål	$\gamma_s = 1,15$

Tabell 3: Dimensjoneringsgrunnlag

4.3.2 Bakgrunn for dimensjoneringsgrunnlag

Egenlast HD265:

$$g_{HD} = 370 \text{ kg/m}^2$$

$$g_{HD} = 3,7 \text{ kN/m}^2$$

(NOBI, 2016)

Påført egenlast:

$$\rho_{avretting} = 2000 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_{avretting} = 20,0 \text{ kN/m}^3$$

(SINTEF, 2015)

Egenlast påført av avrettingsmasse:

$$g_{avretting} = \gamma_2 \cdot t$$

$$g_{avretting} = 20,0 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,040 \text{ m}$$

$$g_{avretting} = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

Egenlast påført av andre komponenter som fugestøp, himling, sprinkleranlegg, ventilasjon, elektro, isolasjon, lettvegger settes tilsammen lik:

$$g_{annet} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

Påført egenlast blir da:

$$g_{tillegg} = g_{avretting} + g_{annet}$$

$$g_{tillegg} = 0,8 \text{ kN/m}^2 + 0,5 \text{ kN/m}^2$$

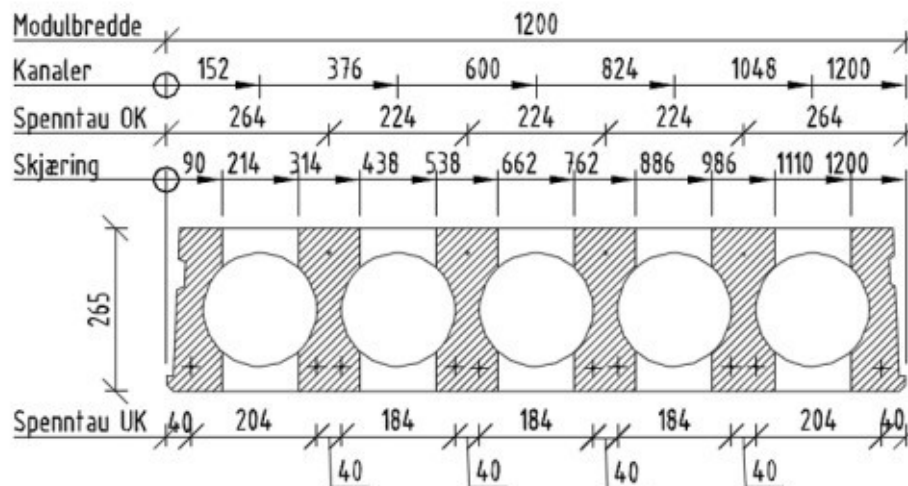
$$g_{tillegg} = 1,3 \text{ kN/m}^2$$

4.3.3 Resultat

Som følger av dimensjoneringsgrunnlaget er det valgt å benytte hulldekke-elementer med tverrsnittsdata som vist i Tabell 4.

Tverrsnittsdata HD	
Bredde overkant	$b_{ok} = 1170 \text{ mm}$
Bredde underkant	$b_{uk} = 1200 \text{ mm}$
Høyde	$h = 265 \text{ mm}$
Hull	5 stk sirkulære hull med $D = 185 \text{ mm}$
Spennarmering	10 stk spennkabler à $\text{Ø}10$ i underkant
Antall gjenstøpte kanaler pr ende	1
Lengde av gjenstøping	750 mm
Betongkvalitet gjenstøping	B35

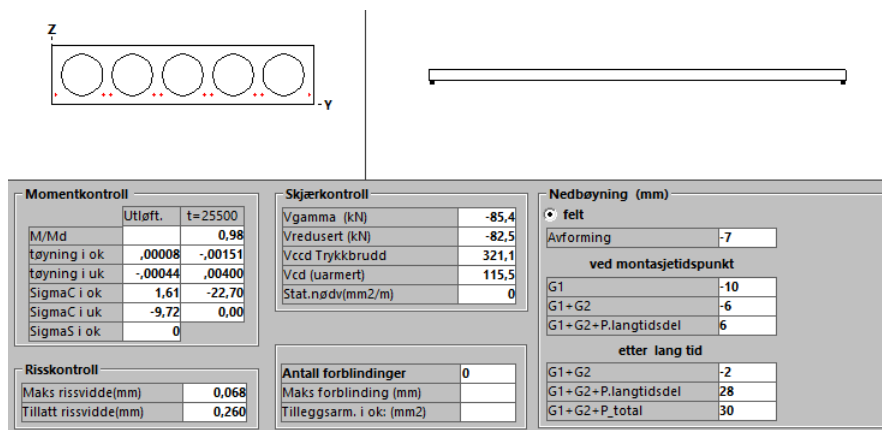
Tabell 4: Tverrsnittsdata



Figur 7: Tverrsnitt av HD265 (Dekkesystemer AS, 2023)

4.4 Kapasitetskontroll

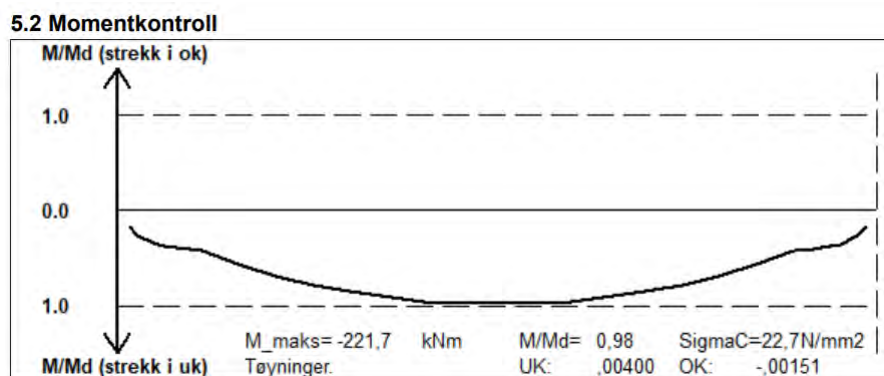
Til kapasitetskontroll er det benyttet beregningsprogram Ove Sletten (se 4.3.1). For beregninger av hulldekker skal det benyttes "E-BJELKE", som er et tillegg til Ove Sletten for beregning av elementbjelker og -dekker. Elementene har blitt kontrollert for moment, skjær, riss og nedbøyning. Moment- og skjærkontroll er utført i bruddgrensetilstand, mens riss- og nedbøyningskontroll er utført i bruksgrensetilstand. Fullstendig beregning i Ove Sletten er vist i Vedlegg D.



Figur 8: Utsnitt fra beregninger i Ove Slettens E-BJELKE (Vedlegg D)

4.4.1 Moment

Programmet kontrollerer bøyning om Y-aksen i bruddgrensetilstand (aksene fremgår av Figur 8). Av beregningene kan man se at dimensjoneringen gir en utnyttelse av momentkapasiteten på 0,98, som dermed gir god materialutnyttelse. Største oppredende moment er midt i felt, har en størrelse på $M_{ed} = 222 \text{ kNm}$, og gir strekk i underkant av elementet.



Figur 9: Momentkontroll for HD-element (se Vedlegg D)

4.4.2 Skjær

Største oppredende skjærkraft oppstår i hvert av opplagrene, og har en størrelse på $V_{ed} = 85,4 \text{ kN}$, som er lavere enn skjærkapasiteten $V_{rd,c} = 115,5 \text{ kN}$, og dermed OK i henhold til NS-EN 1992-1-1:2004 (6.2.1).

4.4.3 Riss

Maksimal rissvidde er beregnet til $W = 0,068 \text{ mm}$, som er lavere enn tillatt rissvidde $W_d = 0,260 \text{ mm}$ og dermed OK.

4.4.4 Nedbøyning

Beregningene viser nedbøyning for tre faser:

1. avforming -7 mm
2. montasjetidspunkt 6 mm
3. etter lang tid 30 mm

Grunnen til at nedbøyning ved avforming er oppgitt som negativ, er fordi elementet her har oppnådd sin tiltenkte overhøyde som følge av oppspenningen (se del [2.1.2](#)). Nedbøyning skal være mindre enn $L/250$ for dette brukstilfellet (NS-EN 1992-1-1, 7.4.1 (4)). Nedbøyning etter lang tid er avgjørende, og har en størrelse på 30 mm som er mindre enn kravet:

$$30 < \frac{L}{250} = \frac{10350}{250} = 41 \rightarrow OK$$

5 Analyse

5.1 Innledning

For å kunne komme med forslag til tiltak som skal gjøre ombruk av HD-elementer gjennomførbart innenfor en praktisk og økonomisk forsvarlig ramme, bør nåværende markedssituasjon analyseres. Denne delen av oppgaven handler om markedsfurutsetninger, markedsanalyse, kostnadsanalyse og miljøanalyse. Markedsforutsetningene tar for seg hvilke bakenforliggende europeiske direktiver og norske forskrifter som legger føringer for ombruksbransjen. Markedsanalysen omhandler dagens marked og hvilke faktorer som vil påvirke utviklingen av ombruk i markedet i dag og fremover, med hensyn til praktiske løsninger, nyutviklinger og erfaringsprosjekter. Kostnadsanalysen og miljøanalysen kan ses i sammenheng, ved at de legger grunnlaget for en casestudie fra et tettbebyggt strøk. Her vurderes det hvilke innvirkninger ombruk av materialer har i nye prosjekter, sammenlignet med tradisjonell riving, gjenbruk og deponi. På denne måten er det mulig å avdekke hvor i prosessen de største utfordringene ligger, og dermed komme med forslag til tiltak som kan bidra til å løse disse.

5.2 Markedsforutsetninger

5.2.1 FNs bærekraftsmål

FN har utarbeidet 17 bærekraftsmål innen tre dimensjoner: klima og miljø, sosiale forhold og økonomi. Det er utelukkende når alle tre dimensjonene er hensyntatt, at noe kan sies å ha en bærekraftig utvikling. Bærekraftsmål nr. 9 handler om å fremme bærekraftig industri, innovasjon og infrastruktur (FN, 2023b). Det er satt som mål at innen 2030, skal næringslivet bli mer bærekraftig og bruke ressurser mer effektivt. Videre er det mål om at det brukes rene og miljøvennlige teknologiformer og industriprosesser. Det 12. bærekraftsmålet omhandler å hindre overforbruk (FN, 2023a). Produksjon og forbruk må holdes på et bærekraftig ansvarlig nivå. For å

sikre en bærekraftig utvikling må avfallsmengden reduseres gjennom forebygging, reduksjon, materialgjenvinning og ombruk. Det er mål om at store og flernasjonale selskaper skal ta ansvar og stimuleres til å ta i bruk bærekraftige metoder. Bærekraftsmål nr. 13 handler om å stoppe klimaendringene (FN, 2023c). Innarbeiding av tiltak mot klimaendringer som kvotelegging og avgifter på utslipp av farlige gasser vil bidra til å redusere utslippene. Bærekraftsmålet handler også om bevisstgjøring av konsekvensene av valgene selskaper og enkeltpersoner tar, slik aktører kan tilpasse seg deretter.

5.2.2 Sirkulær økonomi

Sirkulær økonomi er høyt prioritert i EUs klimakommisjon. Kommisjonens lavutslippsstrategi viser at omstilling til en sirkulær økonomi er avgjørende for å nå målet om et lavutslippsamfunn innen 2050. Dette innebærer at det må etableres et utvidet syn på hva som er ressurser, og hvordan man kan utnytte disse på en mest mulig effektiv måte (Miljødirektoratet mfl., 2020). Ombruk av materialer er sett på som en av de viktigste strategiene for å nå målet om en sirkulær økonomi.

Siden sirkulær økonomi blir høyt prioritert av EU, medfører det at det vil komme flere nye og reviderte regelverk Norge må forholde seg til i fremtiden gjennom EØS-avtalen (Miljødirektoratet mfl., 2020). De to siste regjeringsplattformene har gitt uttrykk for en klar strategi om at Norge skal være et foregangsland i utviklingen av en sirkulær økonomi som sørger for bedre ressursutnyttelse (Regjeringen Støre, 2021) (Erna Solbergs regjering, 2019). Målet om overgangen fra en lineær til en sirkulær økonomi står derfor sentralt i norsk politikk.

5.2.3 Europeiske krav og føringer

Det finnes både nasjonale og europeiske krav til ombruksprosesser i byggebransjen. De norske forskriftene baserer seg på europeiske føringer, spesielt gjennom EUs klimakommisjons klimapakke: "Fit for 55" (Ask, 2023). Denne klimapakken er fortsatt til høring, men er antatt å bli vedtatt av klimakommisjonen i løpet av våren 2023. Fit for 55 legger føringer for at EU skal nå klimanøytralitet innen 2050. Dette

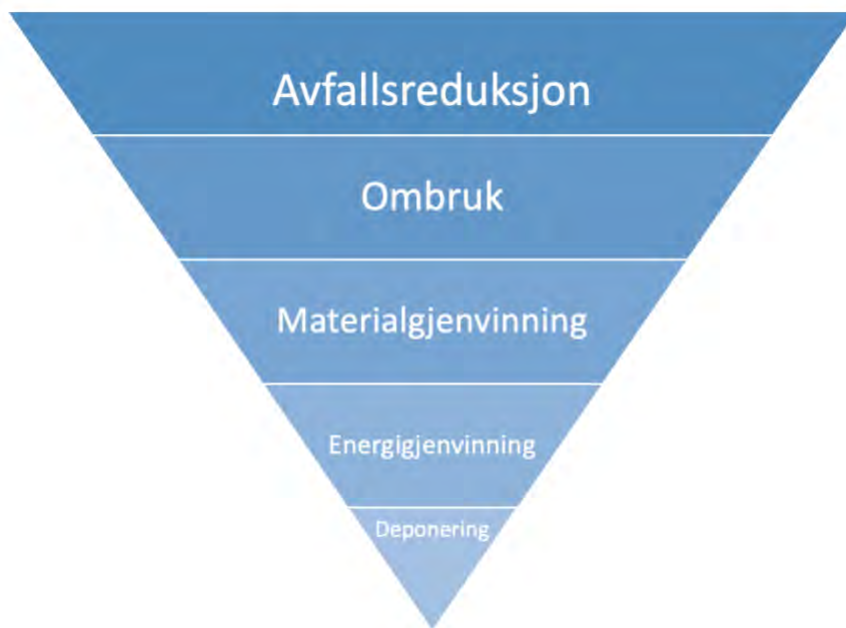
betyr at alle medlemsland i EU eller EØS skal sammen ha redusert klimautslippene med 55 % i perioden fra 1990 til 2030.

Som en del av Fit for 55, vil byggenæringen gå fra å være ikke-kvotepliktig til å være kvotepliktig gjennom kvotehandelsystemet Emissions Trading System II (ETS II). ETS er et tiltak fra EU som omhandler handel av klimakvoter. En klimakvote er en tillatelse til å slippe ut en viss mengde klimagasser, og over tid vil EU redusere antall kvoter for å redusere utslippene (Regjeringen, 2020). ETS II skal være virkende fra og med 2027, og vil påvirke byggebransjen spesifikt gjennom å regulere utslippene til byggenæringen i alle EUs tilsluttede land (Ask, 2023). Kvotehandelsystemet er ifølge EU et effektivt tiltak for å redusere klimagassutslippene i Europa (Ask, 2023). Kvotehandel blir per i dag gjennomført i blant annet kraftproduksjon og varme, energiintensiv industri og innenriks luftfart (Ask, 2023).

5.2.4 Avfallshåndtering

EUs klimakommisjon har etablert et eget avfallsdirektiv med hensikt om å redusere mengden avfall i Europa. Dette direktivet hensyntar bygg- og anleggsbransjen blant annet gjennom *artikkel 9: Avfallsforebygging*. Denne artikkelen fokuserer på å redusere mengden nyproduksjon av byggematerialer, oppmuntre bransjen til å velge ombruk, samt diskutere hvordan ombrukprosesser bør markedsføres for å bli etablert som et reelt alternativ til nyproduksjon. *Artikkel 11: Forberedelse til ombruk og gjenbruk*, stiller krav til en sorteringsgrad på minst 70 % av vekten til alt avfall fra og med 2020 (EU, 2018). Avfallsdirektivet og sorteringsgraden påvirker hvordan bygg- og anleggsbransjen bør håndtere avfall i dag for å bli mer sirkulær.

Avfallspyramiden (se Figur 10) er en figur som illustrerer prioriteringsrekkefølgen for avfallshåndtering i EU og Norge, der målet er å behandle avfallet så nær toppen av pyramiden som mulig (Lindberg, 2023). Avfallspyramiden har fem trinn: Avfallsreduksjon på toppen, deretter ombruk, materialgjenvinning, energigjenvinning, og deponering nederst. Desto høyere opp på pyramiden avfallet blir behandlet, desto mindre avfall blir produsert. Hensikten med figuren er å ha en oversiktlig illustrasjon som viser hvordan avfall bør håndteres for å oppnå en mest mulig sirkulær økonomi.



Figur 10: Avfallspyramiden (Reppe, 2021)

Dagens rivemetoder medfører store mengder avfall fra byggenæringen. Riving av HD-elementer på norske arbeidsplasser er i dag preget av destruktive metoder som nedtygging og knusing. Entreprenørene benytter seg av gravemaskiner som knuser elementene til mindre bestanddeler, før massene sorteres, og transporteres til avfallsstasjoner hvor de enten brukes til fyllmasse eller som tilslag i ny betong. Ifølge Statistisk Sentralbyrå utgjorde generelt avfall fra byggenæringen 1,82 millioner tonn i 2021, der 695 455 tonn var kategorisert under ”betong, tegl og andre tyngre avfallstyper” (SSB, 2022). Dersom man legger til ”forurenset tegl og betong”, utgjør disse to postene dermed 47 % av byggavfallet. Statistikken viser videre at omkring 66 % av dette avfallet igjen stammer fra bygg som rives (SSB, 2022). Rivemetodene bidrar derfor i dag til store mengder avfall, hvor ombruk ifølge avfallspyramiden kan være med på å redusere dette.

5.2.5 EUs taksonomi

EUs taksonomi vil påvirke økonomien til fremtidens byggeprosjekter. Taksonomi er klassifisering av et system eller flere systematiske enheter. EUs taksonomi som klassifiseringssystem er derfor et nytt konsept som merker hvilke prosjekter som er

”grønne”, og derfor bærekraftige, og hvilke bygg som er såkalte ”grå bygg”. Dette systemet er med på å påvirke hvor banker, forsikrings- og investeringsselskaper investerer, bevilger lån eller tegner forsikringsavtaler. Dette bidrar derfor til byggebransjens fremtidige, økonomiske inntektsgrunnlag. For å bli merket som et ”grønt bygg” i taksonomien, er et av kravene at minst 70 % av bygnings- og riveavfallet går til ombruk eller materialgjenvinning (Grønn Byggallianse, 2023a). Et annet krav er at prosjektering og konstruksjonsteknikker skal fremme ressurseffektivitet, og være tilpasset fremtidig ombruk og materialgjenvinning (Grønn Byggallianse, 2023a).

Hvordan taksonomien skal implementeres i praksis, er fortsatt under utarbeidelse av EU og Grønn Byggallianse. EU vil fremover legge taksonomikriteriene til grunn for forskningsmidler, noe som gjør at forskning innenfor byggenæringen er basert på grønn klassifisering for å få økonomisk støtte. BREEAM, en internasjonal metode og verktøy for miljøsertifisering av bygg som tar hensyn til blant annet energibruk og materialbruk, følger per våren 2023 ikke dagens taksonomikriterier fullstendig. BRE Group, eierene av BREEAM-systemet internasjonalt, ønsker å implementere EUs taksonomi i BREEAM-sertifiseringen, slik at alle aktører som gjennomfører BREEAM også får grønn sertifisering gjennom taksonomikravene (BRE Group, 2022). Norge har utviklet en versjon av BREEAM tilpasset norske forhold, kalt BREEAM-NOR. I Norge er en veiledning fra Grønn Byggallianse under utarbeidelse for å finne ut om BREEAM v6.0, en oppdatert versjon av BREEAM-NOR, tilfredsstillende EUs taksonomikriterier (Grønn Byggallianse, 2023a).

5.2.6 CE-merking

CE-merking er et kvalitetsstempel som delvis bekrefter om en byggevarer er fremstilt etter en harmonisert produktstandard. Systemet er etablert av EU med hensikt om at byggevarer i Europa fritt kan omsettes på tvers av landegrensene. Som resultat, er det innført harmoniserte produktstandarder som gjelder alle byggevarer som er tiltenkt en slik omsetning. Begrepet *delvis kvalitetsstempel* kommer av at CE-merkingen bekrefter om den harmoniserte produktstandard er oppfylt, men ikke enkeltlands spesifikke krav og forskrifter til dokumentasjon av byggevarer (DiBK, 2023c).

Krav til CE-merking varierer basert på type byggevare. CE-merking er obligatorisk for alle byggevarer med en harmonisert produktstandard, for eksempel betongelementer, gipsplater og EPS. Per i dag finnes det 450 harmoniserte produktstandarder i EU og EØS, noe som dekker de fleste byggevarer. For varer uten en harmonisert produktstandard, er CE-merking frivillig. Frivillig CE-merking kan gjøres ved å skaffe en europeisk teknisk bedømmelse (ETA) (DiBK, 2023d) (DiBK, 2023b).

Krav til CE-merking innen ombruk av byggevarer har de siste årene blitt oppdatert gjennom EUs Byggevareforordning, for å gjøre det lettere å omsette brukte byggevarer. Byggevareforordningen er en type lovgivning fra EU som tas direkte inn i nasjonal lovgivning til medlemslandene, og omhandler regler for omsetting og markedsføring av byggevarer i EU- og EØS-landene (Byggordboka, 2018). Forordningen gjelder varer som skal omsettes, så dersom varene er til intern bruk, vil den ikke gjelde. De nye oppdateringene i forordningen går ifølge Direktoratet for Byggkvalitet ut på følgende: Brukte byggevarer som er produsert før 2013, trenger ikke å CE-merkes på nytt, mens det er obligatorisk å CE-merke alle byggevarer som er dekket av en harmonisert produktstandard, og som har kommet på markedet etter 01.01.2014 (DiBK, 2013) (DiBK, 2021). I begge tilfellene betyr det at dokumentasjon på CE-merking må legges til produktet, enten CE-merkingen må gjøres på nytt, eller om dokumentasjonen blir funnet igjen når byggevaren skal ombrukes. Oppdatering av forordningen vil derfor bidra til å forenkle og korte ned de fremtidige ombruksprosessene.

5.2.7 Norske krav og føringer

Klimakur 2030 er en rapport utarbeidet av ulike norske faginstanser for å beskrive hvilke bransjer som har mest potensiale til klimagassreduksjon innen ikke-kvotepliktig sektor, og hvilke tiltak som må etableres for å nå klimamålene innen år 2030. Norge har overfor EU lovet en utslippsreduksjon på minst 45 % innen 2030, sammenlignet med 2005. Klimakur 2030 legger et kunnskapsgrunnlag og beskriver tiltak for hvordan dette kan gjennomføres (Miljødirektoratet mfl., 2020). Tiltakene trekker frem atferdsendringer, teknologi og virkemidler i form av krav, støtte, avgifter og informasjon for å nå målene. Bygg og anlegg presenteres i rapporten som en

ikke-kvotepliktig sektor sammen med transport, sjøfart, fiskeri, avfall og oppvarming (Energi og Klima, 2020). I etterkant av publiseringen av rapporten, har EU foreslått at bygg- og anleggssektoren skal innlemmes i det europeiske kvotehandelsystemet ETS, fra og med 2027 (se del 5.2.3). Ved innføring av klimakvoter, vil tiltakene gitt i Klimakur 2030 være mest aktuelle i tiden frem til 2027.

Føringene fra EUs direktiver blir gjeldende i norske forskrifter for byggenæringen. Disse omfatter Byggteknisk Forskrift (TEK17), Dokumentasjon av byggevarer (DOK) og Byggesaksforskriften (SAK). Den 01.07.2022 kom det endringer i forskriftene slik at de tar hensyn til ombruk. Endringene har overgangstid til 01.07.2023 (Tollefsen Moen og Eriksrød, 2022).

I TEK17 er det krav om at alle nye bygg skal tilrettelegges for senere demontering, og at materialer skal bli kartlagt for ombruk ved større arbeider i eksisterende bygg. I forskriften er det gjort endringer i kapittel 9, § 9-5 *byggavfall og ombruk*, hvor det nå er lagt inn et andre ledd som spesifikt går på ombruk: ”Det skal velges produkter som er egnet for ombruk og materialgjenvinning. Byggverk skal prosjekteres og bygges slik at det er tilrettelagt for senere demontering når dette kan gjennomføres innenfor en praktisk og økonomisk forsvarlig ramme.” (DiBK, 2022c). I veiledningen til dette punktet er ombruk av materialer i hovedsak basert på om det er merket eller vurdert med Svanemerket/EU-blomsten, eller er vurdert som ECOprodukt (DiBK, 2022c). Prosjektering for demontering og ombrukskartlegging vil derfor spille en sentral rolle for byggeprosesser i næringen. I TEK17 kapittel 17-1, nevnes også krav om klimagassregnskap ved oppføring og hovedombygging av boligblokk og yrkesbygning. Det nevnes i punktet at det bør etableres et klimagassbudsjett, slik at man underveis i prosjekterings- og utførelsesfasen aktivt kan redusere klimagassutslippet (DiBK, 2023a).

Endringene i SAK med relevans til ombruk av hulldekker, omhandler nye bestemmelser knyttet til miljøkartlegging og klimagassregnskap. Endring innenfor klimagassregnskap forekommer her i § 12-2. *Ansvarlig søkers ansvar*, og sier at: ”Ansvarlig søkers ansvar er å påse at det blir utarbeidet klimagassregnskap over faktisk bruk av byggematerialer [...]” (DiBK, 2022a). Innen miljøkartlegging er det foretatt endringer i § 12-3. *Ansvarlig prosjekterendes ansvar*, der ledd c er endret til: ”An-

svarlig prosjekterende har ansvar for at det blir utarbeidet nødvendig prosjektering som grunnlag for avfallsplan og rapport for miljøkartlegging.” (DiBK, 2022b). Dette legger til grunn at miljøkartlegging og klimagassutslipp i større grad blir satt på agendaen i fremtidens nybygg.

Endringene i DOK omhandler unntak fra krav om dokumentasjon ved omsetning av brukte byggevarer som tas ut av et byggverk. Endringen omhandler byggevarer som det ikke er foretatt store endringer av, og som skal brukes på nytt med samme formål og stand i et byggverk (DiBK, 2022d). Unntakene fra kravene vil bidra til å forenkle ombruksprosessen.

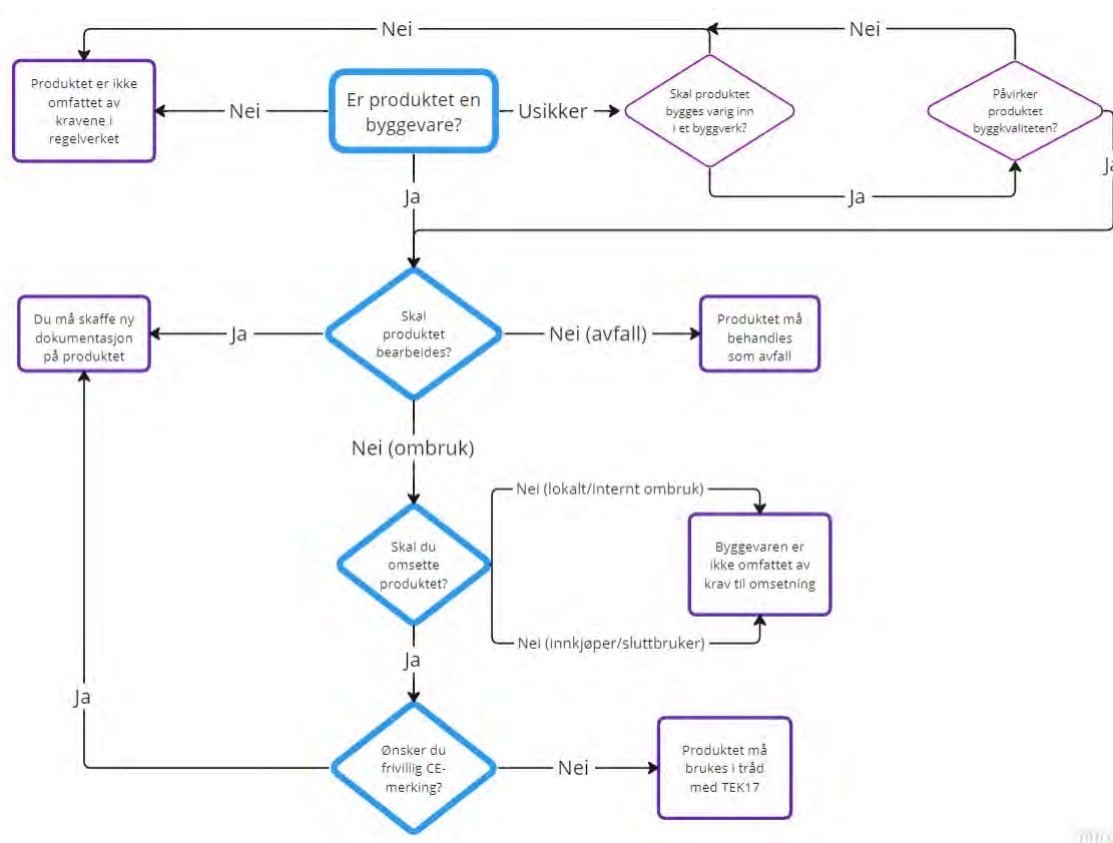
5.2.8 Norsk Standard for ombruk av HD-elementer

NS 3682 - Hulldekker av betong til ombruk ble utgitt i 2022 av Standard Norge. Denne standarden inneholder krav og veiledning til ombruk av HD-elementer, som går på blant annet ombrukskartlegging, demontering og prosedyre for testing. Tilleggene i standarden inkluderer sjekklister for hva ulike aktører må se etter før, under og etter arbeidet er gjennomført. Standarden har til hensikt å systematisere prosessen fra demontering til tilstandsvurdering av eksisterende hulldekker, slik at de kan dokumenteres på lik linje med nye dekker. Standarden tilfredsstiller i tillegg kravene i den harmoniserte produktstandard for hulldekker (se del 5.2.6), og kan dersom den norske standarden blir fulgt ved ombruk, tilrettelegges for omsetning på tvers av land i EU og EØS. Videre vil standarden bidra til å nå FNs bærekraftsmål om ansvarlig forbruk og produksjon, og derfor ta del i reduksjon av klimagassutslipp (Standard Norge, 2023).

5.2.9 Ombrukskartlegging

Direktoratet for Byggkvalitet har utarbeidet en veileder for ombruk av byggevarer. Veilederen ble utviklet i forbindelse med DiBKs utlyste FoU-prosjekt *Forsvarlig ombruk* (Fjeldheim mfl., 2019). Veilederen har til hensikt å bistå i ombrukskartleggingen av ulike byggematerialer. Brukere av veilederen bør ha satt seg inn i relevant regelverk på forhånd. Dette innebærer å gjøre seg kjent med alderen til byggevarer,

skaffe tilgjengelig produktinformasjon og finne øvrige opplysninger om behandlingen av byggevaren under riving. Ved bruk av veilederen vil man kunne få svar på hva som er neste steg for å kunne ta i bruk byggevaren på nytt. Veilederen er utformet slik at brukeren besvarer spørsmål som går på ulike egenskaper og formål med byggevaren. Man vil da få ut et resultat som forklarer hva som er neste steg i kartleggingen. Figur 11 viser hvilke mulige resultater man kan få ved bruk av veilederen.



Figur 11: Flytskjema for DiBKs veileder

5.3 Markedsanalyse

Innføring av ombruk hos mange aktører på kort tid er en stor omveltning for byggenæringen, og markedet er derfor fortsatt i en etableringsfase. Markedsanalysen vil som følge av dette presentere dagens marked for ombruk av hulledekker, samt ulike aspekter ved dagens ombrukssituasjon.

5.3.1 Status klimagassutslipp

Bygg blir ofte omtalt som ”40 %-sektoren”, da den står for 40 % av både energibruk, materialbruk og klimagassutslipp på global basis (H. N. Larsen mfl., 2022). Sementindustrien står alene for 8 % av klimagassutslippene på verdensbasis (Andrew, 2019). I Norge er situasjonen litt annerledes når det kommer til energiforbruk. Nær 90 % av energien som brukes til drift og oppvarming av byggene i Norge kommer fra fornybare energikilder. På grunn av dette, står utslippene fra den norske BA-bransjen for omkring 15 % av det totale norske klimagassutslippet (Grønn Byggallianse, 2023c) (H. N. Larsen, 2019). Dette viser at fornybare energikilder i Norge er en stor bidragsyter til at den norske BA-bransjen slipper ut mindre klimagasser enn mange andre land i verden. Innen materialbruk står BA-bransjen for 25 % av den årlig genererte avfallsmengden, som er den største andelen blant sektorene i Norge (Hatling mfl., 2020). Fornybar energi i Norge spiller derfor en viktig rolle for klimagassutslippene i BA-bransjen, men samme bransje utgjør også en stor andel av Norges totale avfallsproduksjon.

5.3.2 Reduksjon av klimagassutslipp

For at Norge og EU skal nå målet om et nullutslippssamfunn innen 2050, må klimagassutslippene reduseres. Det finnes flere måter å redusere klimagassutslipp på, og en av dem er å redusere produksjon av nye byggevarer. Hulldekker utgjør i dag en stor andel av klimagasser til klimagassregnskapet, og det er derfor valgt å se nærmere på ombruk av disse (Fjeldheim mfl., 2019).

Ombruk står sentralt i materialbesparelse, materialeffektivitet og reduksjon av klimagasser i forbindelse med byggevarerproduksjon. Med HD-elementer spesifikt, er ofte elementenes brukstid mye kortere enn levetiden (Fjeldheim mfl., 2019). Ifølge den nederlandske masteroppgaven: *Reuse of hollow core slabs from office buildings to residential buildings*, mister ikke hulldekker styrke dersom de har blitt brukt som vanlige etasjeskillere uten å ha blitt påført noen form for overbelastning i løpet av brukstiden. Det er altså utelukkende ved overbelastning at det er risiko for redusert styrke (Naber, 2012). Dette betyr at dekkene har lenger levetid enn det de benyttes

til i dag.

5.3.3 Digitalisering

Digitalisering av ombruksprosesser er i dag lite utviklet, selv om det har kommet noen eksempler de siste årene. Innenfor ombrukskartlegging har SWECO de senere årene anskaffet seg en 3D-scanner fra NavVis, der man går gjennom et bygg med scanneren, og gjennom bildeteknologi og kunstig intelligens (AI), kartlegger materialer og bygningskomponenter i bygg. Dette benyttes til å lage digitale fremstillinger til bruk i videre kartlegging til ombruk, riving eller rehabilitering og materialbehandling av bygningsmasser i nye og gamle bygg (Sweco, 2023). Samtidig har Modulize, som er en nyoppstartet bedrift opprettet april 2023, et ønske om å bruke AI til å auto-generere dimensjoner og pris på prefabrikkerte elementer. Hensikten med tjenesten er å få flere i næringen til å bygge med elementer (Strand, 2023).

Det finnes i dag flere plattformer for kjøp og salg av ombruksvarer, som *Ombygg*, *Rehub* og *AV-ombruk*. Disse aktørene tilbyr andre i bransjen å donere, videreformidle eller selge brukte byggevarer. Gjennom plattformene kan prosjekterende hente inn informasjon om hvilke materialer og varer som er eller blir tilgjengelige på markedet. Ombygg har et fysisk lagerområde med ombruksvarer, der nettsiden viser hva som er tilgjengelig (Ombygg, 2023b). Rehub har en annen forretningsmodell, utformet som en plattform for kjøp og salg mellom aktører i bransjen (Rehub, 2023). AV-ombruk tilbyr blant annet aktører å registrere produkter, få ombrukskartlegging eller veiledning til ombruksprosessen (AV Ombruk, 2023).

5.3.4 Erfaringsprosjekter

Det er frem til i dag gjennomført flere pilotprosjekter med ombruk av HD-elementer, deriblant Regjeringskvartalet i Oslo som donorbygg til nye Kristian August gate 13 (KA13), og nye Oslo Storbylegevakt. Disse har gjort seg opp erfaringer som bransjen kan ta med inn i nye prosjekter. Spesielt for prosjektet i KA13 har det blitt utarbeidet en erfaringsrapport med resultater fra ombruksprosessen som legger erfaringsgrunnlag for fremtidige ombruksprosjekter.



Figur 12: Demontering av HD-element på Regjeringskvartalet (Skanska Norge, 2020)

5.3.4.1 Kristian August gate 13

KA13 er kjent som Norges første bygg hvor ombruk er benyttet i større skala. Bygget er et næringsbygg i Tullinkvartalet i Oslo. 80 % av materialene i bygget stammer fra ulike donorbygg. Dette har medført en reduksjon i klimagassutslipp på totalt 70 % på hele bygget. Materialene har kommet fra blant annet donorbyggene Regjeringsbygg R4, Tøyenbadet, Dronning Eufemias gate 8, og fra feilbestillinger internt eller hos andre aktører (Futurebuilt, 2022).

I KA13 utgjorde 160 kvadratmeter av hulldekkene brukte elementer fra Regjeringskvartalet R4. Denne andelen utgjør tre av syv etasjer i det nye bygget. Ifølge erfaringsrapporten fra KA13, var en av grunnene til at de ikke benyttet flere brukte elementer, at hulldekkene fortsatt hadde en konstruktiv påstøp som utgjorde en større last enn det mange av pelene var dimensjonert for. En annen grunn, var at de brukte hulldekkene ble 5-6 ganger dyrere enn ved bruk av nye hulldekker. Pilotprosjektet viste seg å gi en utslippsbesparelse på 89 % ved å benytte brukte hulldekker kontra nye. (Høydahl og Walter, 2020). Andelen ombrukte hulldekker, inkludert påstøp fra Regjeringskvartalet, utgjorde ca. 96 tonn brukte hulldekker. Dette medfører en besparelse på ca. 10,9 tonn CO₂-ekvivalenter (Nordby mfl., 2021).

Som en følge av rapporten, kom det frem nyttige erfaringer innen mellomlagring,

materialhåndtering fra donorbygg og prosedyrer for håndtering av dokumentasjon, som bør tas med videre i fremtidige prosjekter. I rapporten er det konkludert med tre hovederfaringer: En første erfaring er at det i god tid før demontering av de ombrukte hulldekkene, bør tilrettelegges et sted for mellomlagring hvor elementene kan bearbeides og klargjøres for nytt prosjekt. Den andre erfaringen gjelder behovet for å planlegge demonteringen fra donorbygget nøye for å beholde stabilitet i bygget under demontering og nedheising. Den tredje hovederfaringen omhandler behandling av dokumentasjonskrav for de ombrukte elementene. I dokumentasjonsprosessen må aktører som prosjekterende, utførende, byggherre og eventuelt andre nødvendige aktører, tidlig inn i prosjektet for å kartlegge, planlegge og tilrettelegge for å sikre god behandling av elementene (Nordby mfl., 2021). De tre erfaringene legger et hovedgrunnlag for hvordan fremtidige ombruksprosjekter bør gjennomføres.

5.3.4.2 Oslo storbylegevakt

Nye Oslo storbylegevakt har vært en del av pilotprosjektet der man bruker ombrukte hulldekker fra Regjeringskvartalet (Skanska AS, 2022). Storbylegevakten skal ligge rett ved Aker sykehus, og ferdigstilles i 2023. Prosjektet skal miljøsertifiseres som BREEAM-Excellent i BREEAMs sertifiseringssystem. For å gjøre det, bygges den nye storbylegevakten som et passivhus, der byggeplassen skal være miljøvennlig, og det skal bli benyttet ombrukte hulldekker fra Regjeringskvartalet for å redusere klimagassutslippene (Brekkehus, 2020).

Før de brukte elementene kunne benyttes på byggeplass, måtte de kartlegges og bearbeides. Kartleggingen går ut på å planlegge hvor og hvordan elementene skal inn i bygget, da dekkene har ulike dimensjoner og dokumenterte egenskaper. Bearbeiding av hulldekkene innebærer geometrisk tilpasning av dekkene, pigging av konstruktiv påstøp og innstøping av løftepunkter. Denne prosessen foregikk på Heidelberg Materials (tidligere Contiga) fabrikk i Moss, der det også ble utført dokumentasjon av sentrale egenskaper for dekkene før de ble mellomlagret og sendt til byggeprosjektet for montering (Brekkehus, 2020). Siden prosjektet ikke er ferdigstilt, foreligger det ikke endelige resultater med tanke på klimagassutslipp og økonomi for Oslo storbylegevakt.



Figur 13: HD-elementer stables på byggeplass før transport (Skanska Norge, 2020)

5.3.4.3 Futurebuilt

En sentral bidragsyter for ombruksprosjekter er Futurebuilt. Futurebuilt er et innovasjonsprogram og en læringsarena for aktører i byggebransjen. De fremmer forbildebbygg med formål om å stimulere til nyskaping. Organisasjonen har som hovedmål å realisere 100 forbildeprosjekter som oppfyller FNs bærekraftsmål og parismålene gjennom å alltid kutte klimagassutslipp med 50 % i forhold til vanlig praksis (Futurebuilt, 2023). Mange av forbildeprosjektene til Futurebuilt i dag omhandler ombruk, og er derfor av relevans til fremtidens ombruksprosjekter og erfaringsgrunnlag.

5.3.5 Ombruk av hulldekker i praksis

5.3.5.1 Sammenføyninger

Hulldekker har i dag ikke-reversible sammenføyninger som endeforankring, fugestøp og påstøp. Implementering av ombruksprosesser for hulldekker krever tilpassede, praktiske løsninger. Skanska driver i dag et pilotprosjekt for å se på demonterbare løsninger (Sirkbygg, 2022). Det er foreløpig ikke utviklet demonterbare sammenføyninger, noe som vil si at eksisterende og fremtidige donorbygg ikke vil være prosjektert med tanke på senere demontering. Dagens demonteringsmetoder kan føre

til skader på elementene, og er derfor ikke optimal med hensyn til ombruk. Ifølge Frode Ødegård, kalkulator i Peab K. Nordang, viser erfaringstall fra et av deres prosjekter at 70 % av hulldekkene ble skadet under demontering (F, Ødegård. personlig kommunikasjon, 12.05.2023). Det vil derfor være stort potensial i å utvikle nye metoder for demontering av eksisterende hulldekker.

5.3.5.2 Mellomlagring

Etterspørsel etter varer og velutviklede systemer for mellomlagringslokasjoner er faktorer som vil påvirke ombruksprosesser. I en lineær økonomi distribueres varer fra produsentens varelager og videre til forhandlere, før de når sluttbrukeren. Ombruk er noe mer krevende, da det ikke er like tydelig når eierskapet går fra eier av donorbygg til prosjekterende. Elementene skal demonteres, transporteres, bearbeides, testes og lagres, før de blir sendt til byggeplass for montering. Mellomlagring er nødvendig som et ledd i ombrukskjeden, da sannsynligheten for at et prosjekt for riving og montering samsvarer, er liten. I dag finnes det få til ingen mellomlagringssteder, men dette er i stadig utvikling. Flere kommuner, deriblant Oslo og Trondheim, gjennomfører prøveprosjekt med mellomlagring for byggevarer (Miljødirektoratet, 2022b) (Ombygg, 2023a).

5.3.5.3 Geografiske forskjeller

Potensialet for økonomisk lønnsomhet må sees i lys av geografisk spredte lokasjoner. Det er i dag store avstander mellom testbenker som kan brukes til fullskalatesting, noe som vil føre til en merkostnad i transport. Samtidig er tomteprisene høyere i tettbygde strøk, noe som vil føre til høyere kostnader for mellomlagring. Fordelen med tettbygde strøk er at det gjerne er hyppigere rivings- og demonteringsprosjekter, og avstanden mellom potensielle donorbygg og nybygg er kortere. Korte avstander er sentrale for ombruk, da større avstander vil redusere besparelsene i klimagassutslipp.

5.3.5.4 Tilgang på informasjon

Mangel på informasjon, erfaringer og kunnskap om de ulike delene av en ombruksprosess i byggebransjen, fører til mangel på struktur i ombruksprosesser generelt. Dette er vist gjennom sluttrapporten til Enova, Multiconsult og Loopfront: *Regionale ombruksnettverk for byggematerialer og inventar*. Denne rapporten nevner utfordringer som blant annet kunnskapsmangel knyttet til planlegging og regulatoriske krav, i tillegg til at det er mangel på erfaringsdata og informasjon om hva som skal være basiskalkyler for ombruk av materialer. Det er også usikkerhet tilknyttet kostnader for lagring, kartlegging, prosjektering, dokumentasjon og demontering, samt for lite kunnskap om mellomlagingsløsninger (Enova mfl., 2021).

5.3.5.5 Norsk standard for ombruk av hulldekker

I henhold til NS 3682 skal all eksisterende påstøp og fugebetong på ombrukbare elementer fjernes (Standard Norge, 2022). I de fleste tilfeller løsner ikke påstøpen under demonteringen, og må derfor fjernes gjennom manuelt arbeid. Heften mellom element og påstøp avhenger av betongkvalitet og sammensetningen av betongen. Det må derfor påregnes bearbeiding av nesten alle hulldekker før ombruk. Prosessen for fjerning av påstøp er både tidkrevende og lite kostnadseffektiv (Fjeldheim mfl., 2019). Videre kan fjerning av påstøp føre til skader på elementene, noe som i verste fall vil medføre at egenskapene ikke tilfredsstiller kravene i standarden.

5.3.5.6 Dokumentasjon

Dokumentasjon og redokumentasjon innen ombruk er nødvendig for å bruke om materialer. Fremskaffelse av dokumentasjon kan være tidkrevende dersom det ikke foreligger produktinformasjon på materialene som skal vurderes for ombruk. Ifølge erfaringsrapporten fra KA13, var manglende dokumentasjon på materialene fra R4, samt krav til dokumentasjon, en av hovedutfordringene ved ombruk av hulldekker på dette prosjektet (Nordby mfl., 2021). Å fremskaffe ny dokumentasjon med testing, er både kostbart, tids- og ressurskrevende. Gjennom markedsanalysen er det kun

funnet frem til fire testbenker som kan benyttes til fullskalaprøving. Tre av disse er plassert på Østlandet, og den siste i Trøndelag. Fullskalaprøving er ifølge Norsk Standard og DiBK nødvendig å gjennomføre på flere av elementene dersom der ikke foreligger dokumentasjon fra produksjonstidpunkt, eller det har forekommet skader eller lignende som kan ha påvirket kapasiteten til HD-elementet (Standard Norge, 2023).

5.4 Kostnadsanalyse

Ved korte avstander viser erfaringstall at det er miljømessig lønnsomt å bruke om betongelementer. Som tidligere nevnt, ble det konkludert med en klimagassbesparelse på 89 % på hulldekkene som var hentet ut fra regjeringskvartalet (Høydahl og Walter, 2020). Erfaringene fra demonteringen viste at ombruksprosessen var tidkrevende, noe som gjorde prosjektet dyrere.

Til analysen har det blitt kontaktet flere aktører i bransjen, og hentet inn prisanslag fra riveentreprenører, betongprodusenter, byggentreprenører og transportselskaper. I analysen tas det utgangspunkt i en casestudie med korte avstander mellom donorbygg, nybygg, deponi, betongprodusent, mellomlagring og testsenter. Analysen vil sammenligne kostnadene mellom deponering og donering av hulldekkene fra donorbygget. Det tas utgangspunkt i et bygg på 70 x 35 meter, med to etasjeskillere utført med hulldekker. Etasjeskillerene antas å være av HD320. Det antas at det er nødvendig med 350 hulldekker, der de i gjennomsnitt har lengde 11,66 m. I analysen antas det at 90 % av hulldekkene i nybygget kan komme fra donorbygget. De resterende dekkene antas å måtte tilpasses med hensyn på gjennomføringer, tilpasninger i elementenes bredde eller andre nødvendige tilpasninger.

5.4.1 Ressursbruk

Øst-riv demonterte hulldekkene på Regjeringskvartalet og har gitt anslag for nødvendig personell for riving og demontering. Anslagene for personell og utstyr er basert på casestudien som presenteres i kostnads- og miljøanalysen. For riving ble det anslått

at en langriver og en gravemaskin til sortering, med førere, var tilstrekkelig. For et tilsvarende prosjekt til demontering ville det være nødvendig med en arbeidsgruppe på syv personer. Det trengs en kranfører, en gravemaskinfører, to betongsagere, to til anhuking og en til å sikre for midlertidig understøttelse av elementene før demontering (Ø, Østdal. personlig kommunikasjon 27.04.2023). HD-elementen kan kranes direkte på semitrailer og transporteres til bearbeiding. Hvilken kran som benyttes avhenger av høyden og størrelsen av konstruksjonen, prosjektets lengde, tyngden på elementene og grunnens stabilitet. I tidsbruk ble det anslått at demontering var dobbelt så tidkrevende som riving.

Videre tas det utgangspunkt i tidsestimater fra Øivind Østdal i Øst-Riv, som påpeker at demontering er dobbelt så tidkrevende som riving (Ø. Østdal, personlig kommunikasjon. 27. april 2023). Videre tas det utgangspunkt i at riving kan utføres med en langriver og en gravemaskin for sortering. Ved demontering antas det en kranfører, en gravemaskin til sortering og fem arbeidere til betongsaging, anhuking og sikring av konstruksjonen. Kostnadsanalysen tar kun for seg kostnader knyttet til riving/demontering av råbygget, altså etter fullført lettriving.

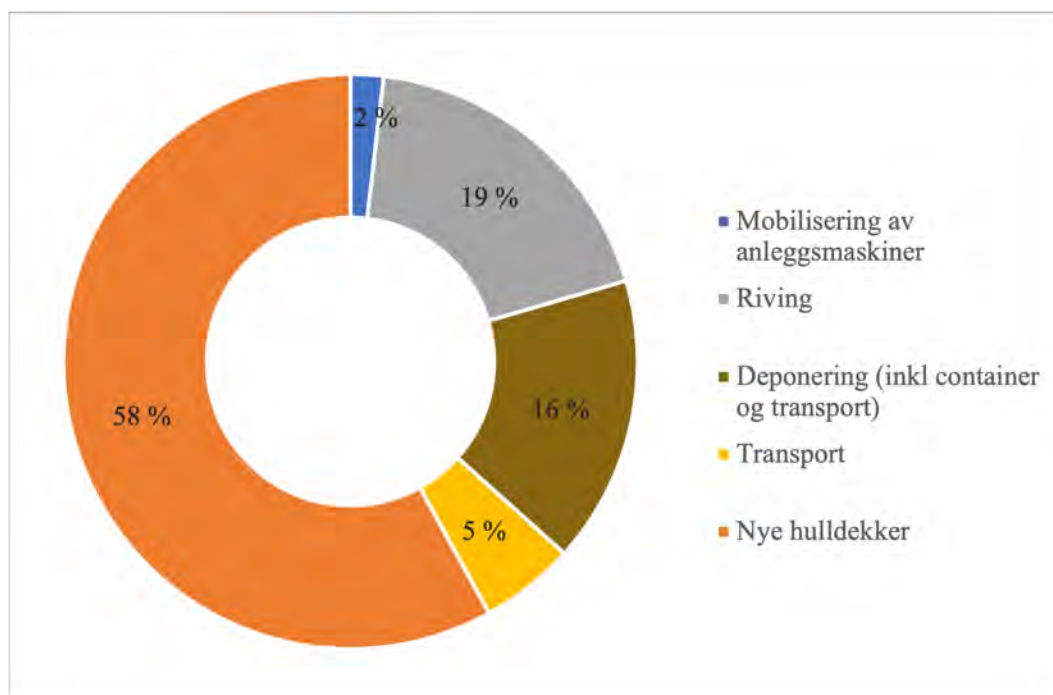
Forutsetninger:

- Avstanden mellom alle aktørene i prosjektet er 10 km. Dette er satt som en forenkling, og for at transport alene ikke skal bli en avgjørende faktor i analysen.
- Betongelementene for ombruk doneres.
- Dekkene i donorbygget krever ikke testing for alkaliinnhold, kloridinntrenging eller karbonatisering.
- Elementene kappes 30 cm i hver ende ved demontering, der avkappet må sorteres og deponeres.
- Analysen tar for seg kostnader på donorbygg etter fullført lett-riving frem til elementene er sendt til bearbeiding og restene av dekkene er sendt på deponi. Analysen tar ikke for seg kostnader knyttet til riving av andre elementer enn hulldekkene.
- Det antas at man kan demontere 350 kvm i uken og at det kan rives 700 kvm i uken med gitte ressurser.
- 25 kg fugestøp per kvm hulldekke.
- Fire måneder mellomlagring.

- Det er kun tynnavretting over hulldekkene i donorbygget.
- Det kommer ikke skader på hulldekkene under demontering.
- Konstruksjonen som demonteres er i samme brukskategori som bygningen som skal oppføres

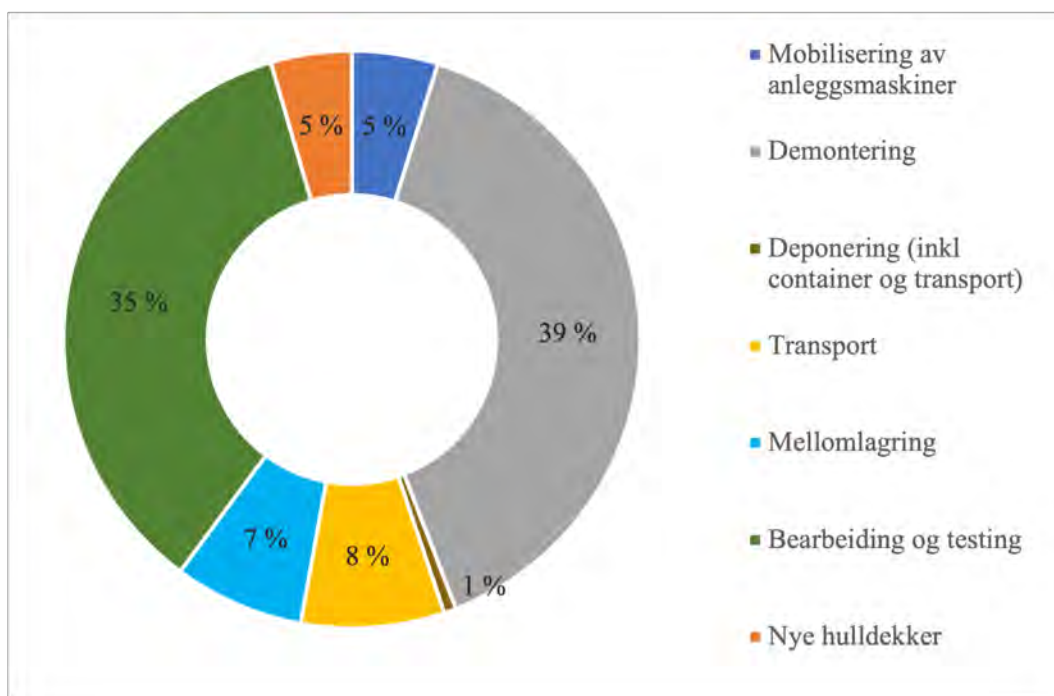
5.4.2 Resultater

I denne casen ble det funnet at differansen i kostnader mellom donering og deponering av gamle hulldekker, samt bruk av gamle eller nye hulldekker var på 28 % (se Vedlegg E). Analysen tar kun for seg kostnadene fra prosessene på byggeplass. For alternativ 1: *Deponering av gamle hulldekker*, innebærer dette mobilisering av anleggsmaskiner, gravemaskin for riving, gravemaskin for sortering, leie av container, deponering, transport og nye hulldekker. Kostnadsfordelingen kan ses i Figur 14.



Figur 14: Deponering av gamle hulldekker

Kostnadene i alternativ 2: *Donering av gamle hulldekker*, innebærer leie av kran og gravemaskin for sortering, container, deponering av rester, mellomlagring, bearbeiding og testing av hulldekker, supplering av nye hulldekker og transport. Kostnadsfordelingen kan sees i Figur 15.



Figur 15: Donering av gamle hulldekker

Fra analysen ser man at kostnaden for nye hulldekker er den største posten for dagens praksis. Ved ombruk av nye hulldekker økes kostnadene for demontering og det ligger store kostnader i bearbeiding og testing. Gjennom analysen ble det funnet at kvadratmeterprisen økte med 320 kroner ved ombruk.

For at en eier av et bygg etter endt brukstid skal komme økonomisk godt ut av å demontere bygget, må kostnadene for å sende massene på deponi være høyere enn merkostnaden ved en lengre demonteringsprosess. Dersom tiltakshaver for ny konstruksjon skal komme godt ut av å velge ombruk, kan ikke kostnadene for bearbeiding, testing og mellomlagring være større enn kostnaden for produksjon av nye hulldekker.

5.5 Miljøanalyse

For å regne ut klimagassutslippene fra prosjektet i casestudien, blir det gjennomført en livsløpsanalyse der materialutslippene hentes fra HD-elementenes EPD. EPD er en miljødeklarasjon for et produkt, der det i byggebransjen produseres én EPD per type byggevare ut fra en LCA (epd-norway, 2015).

Miljøanalysen tar utgangspunkt i samme case som ble skissert i del 5.4: Et prosjekt i et tettbebyggt strøk, med 350 stykker HD320-elementer, og 10 km transportdistanse.

Det er tatt utgangspunkt i EPD fra tre ulike typer betong: Lavkarbon A, Lavkarbon pluss og ordinær B45 M60 betong fra produsent. Det er funnet EPD for alle betongtypene, og massen betong og avstanden på transportetappene er justert for å passe forutsetningene for prosjektet.

Forutsetninger:

- Testing av hulldekkene eksplisitt ved ombruk inngår ikke i miljøanalysen, men transport til og fra testingen er tatt med. Dette grunnet at det per i dag ikke foreligger EPD for testing av hulldekker.
- Hulldekkene utgjør 4900 kvm som gir 1500 tonn armert betong. Dimensjonene er HD320 med lengde 11,66 m.

5.5.1 Resultater

Som grunnlag for analyseresultatet ble det beregnet to ulike scenarier for sammenligning av besparelse (se Vedlegg F). Scenario 1 innebærer at alle hulldekker kommer fra nyproduksjon. Scenario 2 tar for seg 90 % ombrukte hulldekker og 10 % nye hulldekker. Resultatene viser at det ved å benytte 90 % ombruk og 10 % nyproduksjon i stedet for 100 % nyproduksjon, gir en besparelse på 75,2 % kg CO₂-ekvivalenter for ordinær betong, og 72,7 % og 72,5 % for henholdsvis Lavkarbon A og Lavkarbon pluss betong.

6 Diskusjon

I denne delen av oppgaven vil de viktigste funnene fra analysen diskuteres og ses i sammenheng med ulike påvirkningsfaktorer. Dette gjøres for å avdekke drivere og barrierer ved ombruk av hulldekker. Som nevnt i innledningen, er dette avgjørende for å kunne komme med forslag til tiltak som gjør ombruk av HD-elementer mer attraktivt for aktører i byggenæringen. Intensjonen med tiltakene er i første omgang å bidra til en reduksjon av barrierer knyttet til ombruk, samt bygge videre på eksisterende drivere.

Ombruk av hulldekker er en kostbar prosess som blant annet mangler tilbud og etterspørsel, samt tilpassede krav og føringer (Fuglseth mfl., 2020). Dette bidrar til å gjøre det utfordrende for entreprenører som ønsker å gå over til en mer sirkulær modell. Videre er dagens ombruksmarked i en etableringsfase, noe som bidrar til at det er stor mangel på erfaringer og kunnskap rundt ombruk som alternativ til nyproduksjon. Ved å innføre målrettede økonomiske insentiver og regulatoriske virkemidler, kombinert med kunnskapsspredning og holdningsendrende arbeid, vil man kunne bedre markedetssituasjonen på sikt (Fuglseth mfl., 2020).

Det første som skal drøftes i denne delen er hvorvidt HD-elementene på Peab K. Nordang sitt prosjekt i Ålesund er egnet for ombruk. Deretter vil resultatene fra tidligere erfaringsprosjekter med ombruk bli diskutert, før det vil bli sett på ulike aspekter ved ombruk av hulldekker. Dette vil omhandle potensialet for reduksjon av klimagassutslipp, økonomiske forhold og praktiske løsninger for montering av hulldekker. Videre vil det diskuteres hvilken effekt dagens krav og føringer har på ombruksmarkedet, og hvilken rolle politiske virkemidler kan ha for å påvirke næringen.

På bakgrunn av analysen er det tydelig at en av de viktigste driverne for ombruk er omstillingen til en mer klimavennlig og sirkulær BA-næring. Formålet med diskusjonen vil være å foreslå tiltak som skal bidra til å gjøre ombruk av hulldekker mer attraktivt for aktører i byggebransjen. Til slutt vil det drøftes hvilke spesifikke effekter hvert av tiltakene har til hensikt å bidra til, før det vil bli konkludert med

hvilke av tiltakene som er verdt å satse på videre.

6.1 Ombruk av HD-elementene på prosjektet i Ålesund

HD-elementene som er dimensjonert for fabrikkbygget i Ålesund har relativt gode forutsetninger for ombruk med tanke på størrelsen og utformingen av elementene. Det vil likevel være flere utfordringer ved en potensiell plan for ombruk på prosjektet. Montasjen av HD-elementene som er i bygget i dag har blitt prosjektert og utført med ikke-reversible sammenføyninger, og det vil derfor være svært tidkrevende og dermed kostbart å demontere med hensyn til ombruk. Dersom man fra tidlig i prosjekteringsfasen hadde planlagt for ombruk av HD-elementene, ville man kunne oppnå store besparelser i klimagassutslipp. Det ligger derfor et stort potensiale i å starte tidlig med en prosjektering og planlegging for senere demontering. Hulldekkene på fabrikkbygget er utført med påstøp, i tillegg til at det er relativt få elementer i bygget. På bakgrunn av kostnadene som testing og transport vil medføre, konkluderes det med at en eventuell demontering av HD-elementene på prosjektet vil være for tidkrevende til at ombruk vil være økonomisk lønnsomt.

6.2 Ulike aspekter ved ombruk av hulldekker

6.2.1 Reduksjon av klimagassutslipp og avfallsmengde

Rehabilitering og ombruk bør ifølge Grønn Byggallianse være førstevalg så langt det lar seg gjøre når det kommer til bygging, og bærekonstruksjoner er sett på som en av de tre områdene som gir størst effekt ved ombruk (Grønn Byggallianse, 2023b). På bakgrunn av tidligere erfaringsprosjekter som KA13, Oslo storbylegevakt og R4, er det tydelig at ombruk av hulldekker kan være et direkte bidrag til en reduksjon av klimagassutslipp i byggebransjen (se del 5.3.4). Det er flere grunner til dette, der én av de viktigste er at man ved ombruk unngår produksjonsleddet av elementene. Som nevnt i del 5.3.2, står sementindustrien for 8 % av verdens klimagassutslipp. Sementen som inngår i produksjon av hulldekkene står derfor for en betydelig andel av utslipp i forbindelse med elementproduksjonen. Det har blitt hevdet at bygg-

og eiendomssektoren potensielt kan kutte utslipp med 5 millioner tonn CO₂ per år (Hindklev, 2020). Katharina Th. Bramslev, daglig leder i Grønn Byggallianse, peker på ombruk av flere materialer som en nødvendig del av klimakuren (se del 5.2.7) (Hindklev, 2020). Det bør også nevnes at hulldekkekonstruksjoner er det mest brukte konseptet for etasjeskillere i Norge, der det bygges 2 - 2,4 millioner kvadratmeter hulldekke i året. Videre er det en årlig økning på 5 % i bruk av betongelement på norske byggeprosjekter (Betong Norge, 2023). Som følge av det store produksjonsvolumet av HD-elementer og de umiddelbare klimagassbesparelsene ombruk av elementene gir, vil ombruk av hulldekker spille en sentral rolle i omstillingen til en grønnere byggebransje.

Nabers nevnte masteroppgave fra 2012, *Reuse of HCS*, understreker også at betongdekkenes masse, volum og vekt vil ha stor betydning for en potensiell CO₂-reduksjon ved vellykket ombruk (Naber, 2012). Med *vellykket* ombruk menes det her en tids- og kostnadseffektiv prosess, hvor alle byggevarer som er planlagt for ombruk i kartleggingen, faktisk benyttes til formålet, og dermed ikke deponeres eller gjenvinnes. Dette innebærer at både transport og mellomlagring går etter planen, slik at hverken byggevarens kvalitet eller kapasitet forringes før montering i nytt bygg. Dersom man i tillegg legger til grunn Grønn Byggallianses påstand om at ombruk av ressurser har en klimagassbesparelse på hele 90 - 99 % sammenlignet med å ta i bruk nye HD-elementer, vil man kunne oppnå svært store besparelser dersom ombruksprosessen er vellykket (Grønn Byggallianse, 2023b). Dette blir også bekreftet av resultatet i miljøanalysen utført i del 5.5.1, som ga en klimagassbesparelse på 75 %.

Riving av hulldekker utgjør en betydelig andel av avfallet i byggenæringen, noe ombruk også vil bidra til å redusere. Som presentert i del 5.2.4, kommer det tydelig frem av statistikken at det er stort potensiale i å redusere avfallsmengden som genereres av byggenæringen ved å bruke materialer på nytt istedenfor å rive dem. Som nevnt, er hulldekker den mest brukte etasjeskilleren i Norge, og utgjør derfor en betydelig andel av avfallet fra betong. Dette viser at ombruk av hulldekker i seg selv, vil kunne gi store reduksjoner i generert avfall (Fjeldheim mfl., 2019). Videre kan ombruk av HD-elementer bidra til å nå flere av FN's bærekraftsmål, da det kan føre til en reduksjon av både råvareutvinning, avfallsproduksjon og klimagassutslipp. I

tillegg til å nå mål 13 (Stoppe klimaendringene), kan ombruk også bidra til å innfri FNs bærekraftsmål 9 (Industri, innovasjon og infrastruktur), 11 (Bærekraftige byer og lokalsamfunn) og 12 (Ansvarlig forbruk og produksjon) (Sandberg og Kvellheim, 2021). Ombruk kan derfor være en stor bidragsyter til avfallsreduksjon for å nå FNs bærekraftsmål.

Avfallsreduksjon er som tidligere nevnt høyt prioritert av EUs klimakommisjon og dermed også norske myndigheter. Avfallspyramiden (se Figur 10) illustrerer at man ved ombruk behandler avfall nær toppen av pyramiden, noe som viser en fornuftig håndtering av avfallet. Endringen i sorteringsgraden av avfall fra 60 % til 70 % bidrar til at aktører i bransjen bør ha en mer ombruksorientert tilnærming til avfallshåndteringen sin enn tidligere. 4,3 % av Norges klimagassutslipp i 2021 kom fra avfallsbehandling. Miljødirektoratet trekker frem økt grad av kildesortering som et viktig tiltak for reduksjon av klimagassutslipp fra avfall (Miljødirektoratet, 2022a). Ombruk av hulldekker vil dermed kunne bidra til både betydelige klimagassbesparelser og avfallsreduksjon på norske byggeplasser og avfallsstasjoner.

Statistikken som er presentert ovenfor, samt fremtidsutsiktene til den norske byggebransjen med hensyn til krav og satsing på en mer sirkulær modell, viser at ombruk av hulldekker er et tiltak som gir umiddelbare positive klimaeffekter for næringen. De økonomiske aspektene virker å være langt mer uforutsigbare, og ombruk av hulldekker byr gjerne på flere kostnader enn inntekter dersom det ikke ligger særdeles god planlegging og tilrettelegging til grunn.

6.2.2 Økonomisk lønnsomhet

Erfaringer fra tidligere prosjekter viser at det hittil har vært store kostnader ved ombruk av hulldekker sammenlignet med bruk av nyproduserte dekker. Særlig prosjektet KA13 (se del 5.3.4) viser betydelige kostnader forbundet med ombruk, der hulldekkene ble beregnet til å være 5-6 ganger dyrene enn ved å benytte nye elementer. Dersom man tar høyde for den ekstra tiden til prosjektering og planlegging som ombruk medfører, vil dette bidra til en ytterligere økning i kostnader. Det er viktig å legge til at det er store usikkerheter i tallene fra erfaringsrapporten til KA13, etter-

som det var et pilotprosjekt hvor mange ledd i prosessen krevde nøye planlegging (Nordby mfl., 2021). Det påpekes videre i rapporten at en industrialisering av ombruksprosesser vil legge til rette for betydelige økonomiske besparelser ved ombruk. Dette indikerer at det er gode muligheter for nyskaping og innovasjon på ombruksmarkedet, noe som kan generere arbeidsplasser knyttet til kartlegging og utvikling av nye metoder for testing og dokumentasjon av hulldekker.

Under arbeidet med å identifisere de største kostnadene knyttet til ombruk av hulldekker, har det blitt tatt utgangspunkt i følgende kostnadsposter:

- | | |
|----------------|--------------|
| 1. Kartlegging | 4. Testing |
| 2. Riving | 5. Transport |
| 3. Bearbeiding | 6. Lagring |

Dette gjøres for å skaffe oversikt og tydeliggjøre hvor i prosessen de største kostnadene påløper. Av kostnadsanalysen i del 5.4, kan man se at de største kostnadene forekommer i forbindelse med demontering, bearbeiding og testing av hulldekkene. Testing gjennomføres under kontrollerte omgivelser, og det kreves både spesialutstyr og kompetanse på dokumentasjon av byggevarer i forbindelse med arbeidet. De største kostnadene er drevet av utstyret som kreves, og er derfor vanskelig å redusere med umiddelbare tiltak. På sikt kan det være fornuftig å utvikle nye metoder for testing som ikke krever like dyrt utstyr som i dag. Det er i denne oppgaven valgt å rette fokus på tiltak som kan iverksettes umiddelbart, og som skal gi relativt stor effekt på kort sikt.

Prosjektering og tilrettelegging for demonterbare komponenter og ombruk tidlig i prosessen utpeker seg som en viktig strategi for å kunne gjøre ombruk økonomisk bærekraftig. En industrialisering av ombruk vil kunne gi store kostnadsbesparelser knyttet til planlegging og utførelse av demonteringsarbeid og bearbeiding av elementene (Nordby mfl., 2021). Siden riving virker å være den største kostnadsposten, er det interessant å se på hvordan kostnadene kan kuttes i dette leddet. Tilrettelegging for ombruk vil føre til en direkte kostnadsbesparelse ved riving, siden det da kun vil kreve demontering uten betydelig ekstraarbeid som pigging og saging. Selv om

strategien er relativt lettfattelig i teorien, innebærer den målrettet arbeid med å utvikle metoder som fungerer i praksis. En del av dette arbeidet vil dreie seg om å utvikle reversible sammenføyninger, som viser seg å være utfordrende (se del [6.2.3](#)).

Et annet område det er stort potensiale i å effektivisere, er kartlegging av materialer som egner seg for ombruk. En ombrukskartlegging gjør det mulig å identifisere informasjon som er relevant for å avgjøre om et materiale kan brukes om igjen. Kartleggingen kan gjennomføres ved befaring på det aktuelle prosjektet, og innebærer en vurdering og testing av materialene. Basert på disse resultatene vil veien videre med hensyn på ombruk bli bestemt. Ved kartlegging av materialer til ombruk vil det være viktig å avklare med byggherre om ombruket skal foregå internt i prosjektet, eller om det skal doneres eller selges på markedet. Det foregår en interessant utvikling innen kartlegging ved bruk av AI, der målet er at kunstig intelligens skal kunne benyttes for å identifisere og avklare hvilke elementer som er egnet for ombruk, og hvor elementer fra et donorbygg passer inn i et nybygg (Grønn Byggallianse, [2023b](#)) (Strand, [2023](#)).

Som nevnt i del [5.3.3](#), finnes det i dag flere digitale plattformer for ombruk. I første omgang vil det være fordelaktig å tilrettelegge for én eller noen få plattformer for å sikre tilstrekkelig volum av tilgjengelige ombruksmaterialer. Få plattformer vil dessuten gjøre det enklere for prosjekterende å navigere seg i markedet for brukte varer. Ved å samle alle produkter som er egnet for ombruk på én plattform, tilsvarende Finn.no, vil det være enklere for prosjekterende å sammenligne priser og få oversikt over hva som er tilgjengelig. Basert på hva Sandberg og Kvellheim skriver i sin rapport, ”*Ombruk av byggematerialer – marked, drivere og barrierer*”, er forutsetningene nevnt ovenfor ansett som nødvendige for at markedet for ombruksvarer skal kunne konkurrere mot det tradisjonelle byggevaremarkedet (Sandberg og Kvellheim, [2021](#)). Ifølge Vegard Grønstad, prosjektleder i Peab K. Nordang, er en etablering av digitale materialbanker et viktig tiltak for å kunne sidestille brukte varer som et reelt alternativ til nyproduserte. De brukte varene må kunne tilby tilstrekkelig tilgjengelighet og forutsigbarhet (V. Grønstad, personlig kommunikasjon, 24. april [2023](#)).

Det er viktig å understreke at ombruk gjerne forårsaker store kostnader tidlig i pro-

sjekteringsfasen, og at eventuelle gevinster vil komme senere i prosjektet. Gevinsterne kan komme i form av ettertraktede bygg med moderne løsninger og relativt lave klimagassutslipp (Grønn Byggallianse, 2023b). Ombruk vil derfor i første omgang være mest aktuelt for virksomheter som er robuste nok til å tåle kostnadsbelastningen i startfasen. Til gjengjeld vil virksomhetene som er tidlig ute med å etablere sin verdikjede for ombruk, ha mulighet til å opparbeide seg erfaringer og løsninger som potensielt kan gi dem fortrinn på konkurransemarkedet. Del 5.2.7 viser at det stadig kommer krav knyttet til rapportering av klimagassregnskap og avfallssortering. Tidlig innføring av ombruk i verdikjeden vil gi fordeler når det kommer til å innfri stadig strengere krav.

Det er ifølge Miljødirektoratet vanskelig å finne informasjon om egenskapene og kvaliteten til ombruksvarer i dag (Sandberg og Kvellheim, 2021). Dette kan gjøre det vanskelig for aktører å forsvare bruk av ombruksvarer istedenfor nye produkter som innehar tydelig dokumentasjon og forutsigbarhet med tanke på leveringstid. Videre er det tydelig mangel på informasjon og kunnskap rundt mulighetene knyttet til ombruksvarer, og mange aktører i bransjen har en oppfatning av at sirkulære løsninger i dag medfører store økonomiske tilleggskostnader (DFØ, 2022). Det kan derfor argumenteres for at det er behov for informasjonskampanjer som kan belyse mulighetene ved ombruk. Ved å synliggjøre langsiktige besparelser gjennom reduserte kostnader sett fra et produkts livssyklusperspektiv, ville trolig flere benyttet seg av ombruksvarer (DFØ, 2022).

For at aktører skal kunne opprettholde sin konkurransedyktighet på sikt, er de avhengige av å tilpasse verdikjeden sin i takt med utviklingen i næringen. Dette innebærer at bedrifter bør være klar til å omstille seg for å tenke sirkulært, slik at de har mulighet til å tilpasse seg nye krav i anbudsprosesser. Det kan komme nye krav som følge av politiske virkemidler for å insentivere til ombruk. Virksomheter er derfor avhengige av å være åpne for omstrukturering av sin egen verdikjede for å kunne være tilstrekkelig konkurransedyktige.

Flere aktører har allerede hatt ombruksprosjekter, som har gjort at de har opparbeidet seg erfaringer rundt ombruksprosesser og hva deres rolle er i fremtidens byggeprosjekter. Et eksempel på dette er Øst-Riv AS som var riveentreprenør i pro-

sjekt KA13 og har opparbeidet seg erfaringer rundt demontering av hulldekker for ombruk. Erfaring innen ombruk et konkurransefortrinn: Man har opparbeidet seg erfaringer på hvordan prosessen har foregått, hvilke ressurser man trenger, kostnad og tidsaspekter til ombruksprosesser. Å ikke ha opparbeidet seg erfaringer medfører mindre kunnskap om hvilke utfordringer en møter, og kan medføre en større kostnadsramme enn hva som er nødvendig.

Med grunnlag i informasjonen ovenfor kan man med sikkerhet fastslå at det vil være utfordrende å gjennomføre ombruk av hulldekker med økonomisk lønnsomhet slik situasjonen er i dag. Det vil kreve innovative og kreative løsninger å gjøre ombruk av hulldekker økonomisk lønnsomt for aktører i BA-bransjen, og robuste virksomheter med sterk kapital bør bidra i stor grad for å etablere et marked. På den andre siden sørger dette også for gode muligheter knyttet til utvikling av nye forretningsmodeller for ombruk, og bedrifter som er tidlig ute med å etablere sin verdikjede for ombruk kan skaffe seg økonomiske konkurransefortrinn på markedet.

6.2.3 Praktiske løsninger

Hulldekke-elementer er i seg selv godt egnet for ombruk, da de kan tilpasses relativt enkelt i lengderetning ved å kappe dem der man måtte ønske. En av grunnene til at dette lar seg gjøre uten at elementene blir ødelagt, er at spennkablene ligger kontinuerlig i elementenes lengderetning, i tillegg til at det ikke er noen form for skjærarmering i endene som i andre former for betongelementer som for eksempel DT-/SDT-elementer og plattendekker. Elementene produseres altså med relativt standardiserte mål og armeringsmetoder, noe som gjør dem svært anvendelige. Videre blir HD-elementer levert som ferdige produkter, der de nødvendige vertikale lastbærende funksjonene er på plass allerede under montering. I tillegg har HD-elementer raskt omløp til tross for at de ofte har relativt lang restlevetid, noe som gjør dem egnet til ombruk (Fjeldheim mfl., 2019). De største praktiske utfordringene med tanke på ombruk av HD-elementer er knyttet til de ikke-reversible sammenføyningene som opptrer i de fleste eksisterende bygg. Grunnen til at disse sammenføyningene er utformet slik, er at hulldekker stort sett blir utført som *horisontale skivesystem* (se del 2.2.1). I tillegg til dette skal etasjeskillere også tilfredsstillende krav knyttet til

brann og akustikk. For å kunne oppnå alle disse funksjonskravene, er det i dag vanlig praksis å komplettere hulldekkene med endeforankringer, fugestøp og påstøp. Det vil ikke gås nærmere inn på hvordan hulldekkene i dag oppnår kravene, men det er verdt å merke at enhver form for alternative løsninger må tilfredsstillende de samme funksjonskravene for å bli godkjent for bruk.

En demontering av HD-elementer med tanke på ombruk utføres i dag gjerne ved at elementene sages så nært endeoppleggene som mulig. Dette fører til at det ikke trenger å gå med mer enn 10 - 15 cm svinn i hver ende per element (Ø. Østdal, personlig informasjon, 27. april 2023). Saging er stort sett den eneste demonteringsmetoden som er aktuell for HD-elementer på eksisterende bygg, siden knutepunktene er utført som ikke-reversible sammenføyninger. Med tanke på sammenføyning mellom elementene, har det i arbeidet med oppgaven ikke blitt funnet et egnet alternativ som innehar de nødvendige egenskapene som den tradisjonelle fugestøpen har. Det har blitt forsøkt utviklet slike sammenføyninger i forbindelse med en tidligere bacheloroppgave, men disse virker ikke å ha blitt testet i praksis, og vil derfor ikke diskuteres nærmere (Falck mfl., 2022). En eventuell utvikling og innføring av reversible sammenføyninger mellom HD-elementer vil trolig innebære en omfattende omveltning av dagens praksis knyttet til både produksjon og montasje.

Det finnes derimot velprøvde alternativer til påstøp i dag, som ulike tilfarersystem hvor det ikke kreves noen betong i overkant av hulldekkene. *Granab* er et eksempel på et slikt system, der systemet kan monteres direkte på hulldekket. Systemet har flere fordeler sammenlignet med tradisjonell avretting eller påstøp i betong. Granab hevder å ha 50 % lavere CO₂-påvirkning enn betong, i tillegg til at det kun veier 5 kg/m², til sammenligning med 100-200 kg/m² for konvensjonell påstøp (Granab AB, 2023). En mer utstrakt bruk av slike systemer vil gjøre demontering av elementene vesentlig enklere enn ved tradisjonell påstøp. Dette forutsetter naturligvis at hulldekkene i seg selv må ta opp de opptredende lastene, og at det ikke er behov for hverken konstruktiv påstøp eller samvirkepåstøp.

For å kunne demontere elementene med dagens sammenføyninger uten å skade dem, kreves det nøye planlegging og egnede metoder som hittil stort sett virker å være basert på tidligere erfaringer. Dersom elementene ikke allerede har innstøpte løfteanker



Figur 16: Kraning av brukt HD-element (Skanska Norge, 2020)

intakt, må disse monteres i ettertid for å kunne krane ned elementene. Alternativt kan det gjennomføres hulltaking for stropping der det lar seg gjøre. Etter at elementene er stropet fast, skråløftes de med den hensikt at fugeskjøten knekkes i prosessen. Dette forutsetter at det ikke er påstøp ved utheisingen, og resulterer dessuten som regel i ujevne kanter og uheldige bruddbelastninger på elementene (Fjeldheim mfl., 2019). En mer skånsom metode for separasjon av elementene er beskrevet i *Reuse of HCS*, som går ut på å skille dem ved bruk av kiler og hammer (Naber, 2012). Alternativt kan fugestøpen sages på langs for å skille elementene. Dersom påstøpen skal beholdes ved ombruk, er det også mulig å lokalisere elementskjøtene, og sage gjennom både påstøp og fugestøp langs elementskjøtene. Dette ble gjennomført på prosjektet i KA13 (Nordby mfl., 2021). For nedheising av elementene anbefales det løfteanker eller løftebukk, siden eventuelle originale kroker ofte er skadet. For å sikre en effektiv og forsvarlig demontering av elementene, benyttes det i dag egnede stemplingsrigger i underkant (Fjeldheim mfl., 2019).

Identifisering av ombrukbare HD-elementer er en viktig del av kartleggingen på et rivningsprosjekt. Antall elementer som må testes, avhenger av antall produksjonsserier. Standarden for ombruk av hulldekker viser hvor mange forsøk som må utføres av de ulike testene per element. Det vil derfor være fordelaktig å kunne dokumentere at flest mulig elementer tilhører samme produksjonsserie. Å tilhøre samme produksjonsserie innebærer at elementene kommer fra samme bygningsdel eller byggetrinn,

eller at de er levert av samme produsent på samme fabrikk innenfor et tidsrom på 6 måneder. Ved å identifisere hvilke produksjonsserier elementene tilhører, kan man derfor spare både tid og økonomiske midler (Standard Norge, 2022).

Mellomlagring av HD-elementene kan være en utfordring når det kommer til ressursbehov og nødvendig lagringsplass. Det vil i mange tilfeller være behov for tiltak som forhindrer at elementene blir eksponert for fuktinntrengning mellom demontering og remontering. Elementenes respektive eksponeringsklasse bør hensyntas under lagring og transport, slik at karboniseringsdybden ikke øker i prosessen (Fjeldheim mfl., 2019). Dersom elementene blir utsatt for regnvann eller annen fukt, vil det være viktig at de lagres på en måte som gjør at de tørker tilstrekkelig før remontering, og ikke utsettes for frost.

6.3 Krav og føringer

Dagens byggentreprenører forholder seg til krav og føringer i både prosjekterings- og utførelsesfasen. Regelverket sørger blant annet for at alle aktører stiller på lik linje med de samme forutsetningene på konkurransemarkedet. Det kan derfor argumenteres for at innføringer av nye krav er en viktig del av omstillingen til en grønnere BA-bransje. Det virker å være en felles forståelse innad i bransjen om at deres andel av klimagassutslippene bør reduseres (Hindklev, 2020). For at dette skal være oppnåelig, bør det vurderes om ytterligere politiske virkemidler bør iverksettes for å stimulere til vekst i ombruksmarkedet. En eventuell innfasing av flere krav knyttet til ombruk, i tillegg til støtteordninger for bedrifter som praktiserer ombrukskartlegging og tilrettelegging for senere demontering, vil kunne virke etter dette formålet (DFØ, 2022). Det er også naturlig å se på dagens skattestruktur for ombruksmarkedet, og kanskje tilpasse denne for å gjøre ombruk mer attraktivt. Dette kan omhandle blant annet økt avgift på nye HD-elementer, eller en økning i avgifter på klimagassutslipp. Myndighetene spiller altså en viktig rolle i utformingen av nye markedsmodeller som oppstår i forbindelse med den grønne omstillingen.

Det er stort fokus blant dagens politikere på grønne løsninger, for å nå FN's bærekraftsmål. Mathilde Tybring-Gjedde er medlem i energi- og miljøkomitéen på Stor-

tinget, og har uttalt seg i flere saker angående ombruk i byggebransjen, der hun tar til orde for at politikerne må bidra til å etablere et marked for ombruksvarer, gjennom blant annet innføring av krav som går på gjenbruk av materialer (Lea, 2023) (Bergvall, 2023). Videre fremmet Tybring-Gjedde og partikollega Nikolai Astrup et representantforslag (254 S (2021-2022)) med forslag til vedtak om blant annet innfasing av krav om andel ombrukte materialer (Tybring-Gjedde og Astrup, 2022). Forslaget ble nedstemt av Klima- og miljødepartementet (KLD), der en del av begrunnelsen var følgende: ”Ombruksmarkedet er ikke modent for det.” (KLD, 2022, s 7). Dette argumenterer KLD for ved å legge vekt på viktigheten av et fungerende marked med tilstrekkelig forutsigbarhet. På den andre siden presiserer KLD at de 1. juli 2022 innførte krav om at bygg skal prosjekteres for senere demontering, og at materialer skal kartlegges for ombruk (KLD, 2022). Dette indikerer at det er en felles forståelse blant både forrige og sittende regjering om at ombruk skal være en del av den grønne omstillingen. Denne oppfatningen samsvarer også med innholdet angående sirkulær økonomi i de to foregående regjeringsplattformene, som nevnt i del 5.2.2.

For å få ytterligere innspill fra politikerne, ble det gjennomført et intervju med Mathilde Tybring-Gjedde i forbindelse med oppgaven. I intervjuet kom det tydelig frem at innfasing av mer ombruk og gjenbruk er en sentral del av Norges strategi for å nå bærekraftsmålene. Tybring-Gjedde hadde et inntrykk av at bransjen stiller seg positive til krav om gjenbruk, men at den forholder seg mer nølende når det kommer til ombruk. Hun forklarte videre at det er viktig å signalisere overfor næringen at det vil komme strengere krav knyttet til ombruk, slik at aktørene får tid til å tilpasse seg omstillingen. Tybring-Gjedde poengterte også at flere av kravene som kom i byggenæringen for 4-5 år siden var økonomisk ugunstige, men at bransjens evne til omstilling har sørget for lønnsomhet til tross for kravene (Mathilde Tybring-Gjedde personlig kommunikasjon, 14. april 2023).

Når det gjelder endringene som har blitt vedtatt i TEK17 og DOK (se del 5.2.7), så virker det foreløpig usikkert i hvor stor grad disse vil påvirke næringen. Endringen i TEK17 er formulert på en måte som gjør at det kan være mulig for prosjekterende å omgå kravet, ved å vise til at det ikke kan gjennomføres innenfor en praktisk

og økonomisk forsvarlig ramme. Dette kan antagelig dokumenteres relativt enkelt dersom man benytter tradisjonell praksis, med løsninger som ikke er beregnet for senere demontering.

6.4 Norsk Standard for ombruk av HD-elementer

Som nevnt i del [5.2.8](#), er det utviklet en egen standard for å systematisere prosessen fra demontering til tilstandsvurdering av eksisterende HD-elementer. Siden standarden ble utgitt i 2022, finnes det per i dag lite tilgjengelig informasjon om erfaringer knyttet til bruken av den. Det er derfor vanskelig å konkludere med hvor mye den bidrar til å gjøre ombruk av HD-elementer mer attraktivt på nåværende tidspunkt. Det kan likevel argumenteres for at standarden reduserer barrierene som går på at dagens regelverk kan oppleves som vanskelig å forholde seg til med hensyn på ombruk. Standarden legger til rette for en systematisk gjennomgang av prosedyrene som i dag kreves for å dokumentere HD-elementer fra eksisterende bygg. Slike verktøy er nyttige for både produsenter av betongelementer og rådgivere som prosjekterer demontering av bygg. (Standard Norge, [2023](#)). Standarden har dessuten vært etterlyst av aktører i markedet, noe som indikerer at den vil være til stor hjelp i arbeidet med å gjøre ombruk mer attraktivt i BA-bransjen (Sandberg og Kvellheim, [2021](#)).

6.5 Fremstilling og virkning av forslag til tiltak

På bakgrunn av analysen og resultatene derfra, har det blitt utarbeidet forslag til tiltak som skal gjøre ombruk av hulldekker mer attraktivt for aktører i byggenæringen. Det bør understrekes at den norske BA-næringen har over 260 000 ansatte, og en årlig omsetning på 675 milliarder kroner (SSB, [2021](#)). Dette medfører store variasjoner i både prosjekters omfang og formål, noe som gjør det svært utfordrende å utforme forslag til tiltak som er generelle nok til å involvere alle aktører i bransjen. For å intensivere omstillingen til en mer sirkulær bransje, vil det likevel vektlegges så langt det lar seg gjøre at tiltakene skal omfatte flest mulig aktører. Som nevnt i del [5.2.7](#) og [5.2.6](#), har det nylig kommet flere endringer for å gjøre ombruk mer anvendt,

som blant annet krav om tilrettelegging for demontering, planlegging for ombruk og kartlegging, i tillegg til fjerning av krav om CE-merking på ombruksvarer.

Tiltak 1: Utvikling og etablering av digitale materialbanker for ombruk

Forslaget er presentert som følge av at det virker å være en felles oppfatning om at det i dag finnes lite informasjon om hvilke ombruksmaterialer som er tilgjengelige på markedet. En etablering av digitale plattformer/materialbanker for ombruk vil kunne bidra til å skape nye arbeidsplasser knyttet til både identifisering, sporing og dokumentering av ombruksmaterialer, i tillegg til videresalg, reparasjoner og vedlikehold av eksisterende materialer (Sandberg og Kvellheim, 2021). Dette forslaget vil gjelde for alle typer materialer, og er ikke spesifikt for HD-elementer.

Under ideelle forhold vil det være mulig å tilpasse utformingen av nye bygg etter hvilke produkter og dimensjoner som er tilgjengelige på ombruksmarkedet. Denne informasjonen vil man eksempelvis kunne anskaffe via en materialbank, noe som vil gi besparelser både i form av lavere materialkostnader for kjøper, samt sparte kostnader for deponi for selger. Dette forutsetter naturligvis at materialprisene er lavere for brukte materialer enn for nye.

Tilgjengeliggjøringen av informasjon på brukte byggevarer vil gjøre dokumentasjonsarbeidet vesentlig enklere for prosjekterende, siden produktinfo og tilstandsvurdering da vil være kjent. Samtidig bør det poengteres at en digital plattform for ombruksmaterialer kun vil lykkes dersom aktørene i bransjen er klar over at konseptet eksisterer. Informasjon og kunnskap om hvilke systemer som finnes for ombruk vil altså være avgjørende.

Tiltak 2: Informasjonsformidling om ombruksprosesser

Ved å innføre målrettet informasjonsformidling, holdningskampanjer og kopetanseheving for prosjektering av bygg med tilrettelegging for senere demontering, vil aktørene få synliggjort mulighetene som finnes ved ombruk i dag. Videre kan de bli bevisstgjort på hvordan de selv kan bidra inn mot omstillingen til en sirkulær

byggebransje. Eventuelle holdningskampanjer vil fungere som et virkemiddel for å bevisstgjøre aktører om konsekvensene ved å fortsette med dagens lineære tilnærming, samt verdien av å tenke sirkulært. En utfordring med tiltaket er at det ikke vil ha tilstrekkelig verdi så lenge det ikke eksisterer gode tekniske løsninger og etablerte prosesser for prosjektering med hensyn på ombruk. Det virker foreløpig å være for mye uforutsigbarhet i markedet. I tillegg vil ikke informasjonsformidling kunne endre dagens strukturer, uten at det vises til reelle økonomiske fordeler ved å benytte ombruksvarer. Dette kan muliggjøres blant annet ved å gi flere insentiver for å benytte brukte varer og kartlegging for ombruk.

Tiltak 3: Insentivordninger for ombruk

Som vist i del 6.3, bør det iverksettes tiltak fra myndighetshold for å bidra til etableringen av et velfungerende marked for ombruk. BA-bransjen er godt kjent med innstramminger i krav og reguleringer for å stimulere til bærekraftig innovasjon, og dette kan være et viktig steg på veien for å nå målene om en mer sirkulær og bærekraftig næring. Som nevnt i 5.3, er ombruksmarkedet lite etablert, og mangler en tydelig verdikjede. Det er per i dag stor økonomisk uforutsigbarhet tilknyttet ombruk, og det bør derfor legges til rette for at aktører skal tørre å satse på ombruk.

Dette innebærer at insentivordninger for ombruk bør utformes på en måte der det blir balansert mellom krav og støtteordninger, for ikke å pålegge aktørene i bransjen en større byrde enn hva de tåler. Det bør legges til rette for at markedet utvikles slik at det på sikt også vil være økonomisk lønnsomt å benytte seg av ombruksvarer. Aktuelle insentiver er listet under:

Aktuelle insentiver

- Stille strengere krav til føring av klimagassutslipp
- Øke CO₂-avgiften
- Stille nye krav i TEK tilknyttet ombruksandel på prosjekter

Videre kan det være aktuelt å iverksette flere ombruksprosjekter med nøye føring av arbeidsmetodikk og erfaringer, som for eksempel KA13 gjennom innovasjonsprogrammet FutureBuilt. Slike pilotprosjekter vil kunne føre til nyttige erfaringer med ombruk, og er viktige for å fastslå blant annet hvor de største økonomiske kostnadene påløper. Det kan derfor med fordel legges til rette for flere slike prosjekter, gjerne gjennom støtte fra organisasjoner som Enova, Innovasjon Norge og Forskningsrådet. Det kan avslutningsvis være aktuelt å undersøke muligheter for at tiltakshavere stiller strengere krav til andel ombrukte materialer i anbud og kontrakter (Sandberg og Kvellheim, 2021). Slike insentiver vil føre til at aktører må legge om verdikjeden sin for å kunne være konkurransedyktige på markedet. Tilrettelegging for ombruk av hulldekker krever likevel nye løsninger for logistikk, lagring og transport av elementene, noe som vil by på utfordringer for dagens modell.

Tiltak 4: Etablere flere områder for mellomlagring av ombrukbare hulldekker

For å få bukt med utfordringene knyttet til håndtering av HD-elementer mellom demontering og remontering, kan en etablering av egne lokasjoner for lagring av elementene være et mulig tiltak. Det er svært sjelden at donorprosjekt og nybygg sammenfaller tidsmessig, og det er sjelden store nok arealer på byggeplass for midlertidig lagring av elementene. Lagerhaller for brukte byggevarer har allerede blitt etablert flere steder, men det er fremdeles mangel på slike tilbud i store deler av landet. En mulig årsak til dette er at etterspørselen etter ombrukte hulldekker foreløpig er for lav, kombinert med at mellomlagring av elementene utgjør en andel på 7 % av ombrukskostnadene (se Figur 15). En mulig løsning på dette kan være flere statlig støttede prosjekter som lagersentralen Ombygg på Økern i Oslo. Slike prosjekter vil potensielt bidra til å gjøre terskelen lavere for å benytte ombruksvarer, ved å gjøre det langt mer tilgjengelig for aktører i bransjen. Det vil likevel være flere utfordringer knyttet til dette tiltaket, der den største utfordringen vil være mangel på etterspørsel i mer landlige lokasjoner med store geografiske avstander. Som vist i kostnadsanalysen kommer det for eksempel tydelig frem at korte avstander mellom donorbygg, mellomlagring og nybygg er en viktig forutsetning for å redusere

kostnader.

Tiltak 5: Utvikle og benytte reversible sammenføyninger av HD-elementer

Tiltaket om å utvikle og benytte reversible sammenføyninger av HD-elementer, er teknisk krevende å få gjennomført, og vil kreve målrettet forskning og prøving over tid. Samtidig er antageligvis dette også tiltaket som vil gi mest positiv effekt på ombruksmarkedet. Funksjonene til dagens ikke-reversible løsninger (fugestøp, påstøp og knutepunktsutforming) er komplekse og sammensatte. Tiltaket vil derfor kreve økonomiske midler til forskning på området, og det vil kunne ta tid før alternative løsninger kan tas i bruk i utførelsesfase. Dagens ikke-reversible sammenføyninger av HD-elementer er en konkret barriere som er lett identifiserbar, noe som skiller seg fra andre barrierer som går på prosess og logistikk. Bygg skal ifølge TEK17 prosjekteres og utføres med tilrettelegging for senere ombruk, noe som dette tiltaket vil bidra til å gjøre vesentlig enklere.

Et videre tiltak for å stimulere til innovasjon kan være å benytte såkalt *konkurransepreget dialog*. En måte å gjennomføre dette på, er å invitere kvalifiserte aktører til å utarbeide nye metoder for sammenføyninger av HD-elementer mot et honorar. Konkurransen kan eksempelvis starte med en runde med konseptutvikling, der noen av aktørene går videre til fase 2: Produksjon av en prototype som testes. Deretter kan utlyser av konkurransen gå videre med aktøren som har utviklet den beste løsningen. Ved å gi deltakerne påskjønnelser for arbeidet som legges ned i innovasjon, tillater det aktører å bruke sine ressurser på slikt arbeid. For å øke motivasjon til deltakelse kan honoraret heves for hver fase, samt at aktøren med best konsept vinner anbudet.

Tiltak 6: Utvidelse av testing som tjeneste

Det er per i dag mangel på tilgang av aktører som driver med testing. I løpet av prosjektperioden har gruppen fått kjennskap til totalt fire testbenker som kan utføre fullskalatesting av HD-elementer. Disse befinner seg i Moss, Hønefoss, Oslo og Steinkjer, og er dermed lite geografisk tilgjengelig i vårt langstrakte land. Dette gir utfordringer for aktører som ønsker å benytte seg av ombrukshulldekker, siden de

risikerer å måtte transportere elementene over store avstander. Denne transporten vil føre til uheldige konsekvenser med hensyn til både klimagassutslipp og økonomiske kostnader. Dersom det hadde blitt etablert flere leverandører for testing av brukte HD-elementer med større geografisk spredning, ville flere aktører i bransjen hatt mulighet til å satse på ombruk. Det er likevel utfordrende å skulle etablere flere testbenker så lenge de økonomiske resultatene ikke er positive for ombruksprosjekter. En utvidelse av testing som tjeneste vil forutsette flere vellykkede prosjekter, for å sikre bærekraftige forretningsmodeller. På sikt vil flere testbenker bidra til at transportleddet i verdikjeden ikke blir en kostnadsfellende faktor.

7 Konklusjon

7.1 Valg av tiltak

Oppgaven har hatt til hensikt å komme frem til hvordan ombruk av HD-elementer kan bli et mer attraktivt valg for aktører i byggebransjen. Gjennom analyse av markedet og drøfting av ulike ombruksaspekter, har det blitt avdekket flere drivere og barrierer for ombruk av hulldekker. Den viktigste driveren virker å være næringens behov for å redusere klimagassutslippene, der ombruk er ansett som et nødvendig tiltak for å oppnå dette. Den største barrieren er de økonomiske resultatene som dagens løsninger for ombruk medfører.

Prosjektarbeidet har resultert i seks spesifikke tiltak, som er utformet på bakgrunn av momentene drøftet i diskusjonsdelen. Basert på drøftingen av potensielle tiltak i del 6.5, er det konkludert med hvilke som er verdt å videreføre. Noen av de resterende tiltakene kan bli aktuelle å iverksette ved et senere tidspunkt. Det er verdt å nevne at tiltakene vil være mindre effektive isolert sett, og at flere av dem bør innføres samtidig for å oppnå tilstrekkelig virkning.

En utvikling og etablering av digitale materialbanker vil bidra til å tilgjengeliggjøre informasjon om hvilke brukte hulldekker som finnes på markedet, i tillegg til å gjøre dokumentasjonsarbeidet enklere for den prosjekterende parten. Dette anses som viktige forutsetninger for at aktører skal benytte seg av ombruk, og er derfor et tiltak som bør iverksettes. Når det gjelder innføring av informasjonsformidling av ombruksprosesser, ville dette bidratt til å synliggjøre mulighetene som finnes ved ombruk. På den andre siden vil ikke dette tiltaket gjøre ombruk av HD-elementer mer attraktivt i seg selv, siden det i dag hverken finnes gode nok tekniske løsninger eller etablerte prosessdeler i ombruksmarkedet. Som følger av dette, vil det være mer hensiktsmessig å vente med innføring av dette tiltaket til et senere tidspunkt, når nevnte faktorer er mer utviklet.

Myndighetene spiller en sentral rolle i utformingen av nye markedsmodeller som oppstår som følge av omstillingen til bærekraftige løsninger. Politiske insentivord-

ninger for ombruk bør innføres for å sikre at aktørene i bransjen har mulighet til å satse på ombruksløsninger fremover. Videre bør det etableres flere lokasjoner for mellomlagring av ombrukbare hulldekker, siden det i dag er mangel på midlertidige oppbevaringsarealer. Det konkluderes derfor med at disse to tiltakene bør iverksettes for å gjøre ombruk av HD-elementer mer attraktivt.

Dagens ikke-reversible sammenføyninger av HD-elementer gjør eventuelle demonteringsarbeider svært tidkrevende og kostbare. En utvikling av reversible sammenføyninger vil derfor kunne gi store kostnadsbesparelser knyttet til ombruksprosesser. Dette anses derfor som et viktig tiltak for å akselerere ombruk av hulldekker i markedet. Utviklingen kan foregå ved å benytte konkurransepreget dialog som metode for forskningen. Det siste tiltaket handler om å etablere flere testbenker for ombrukshulldekker. Det finnes i dag få tilbydere av fullskalatesting av HD-elementer, noe som gjør det geografisk utfordrende for mange aktører. Dagens økonomiske resultater for ombruksprosjekter gjør det likevel vanskelig å forsvare en utvidelse av antall testbenker. På bakgrunn av dette vil det være fornuftig å vente med dette tiltaket til det kan vises til flere positive resultater og markedet har etablert seg i større grad.

Til slutt er det viktig å nevne at det er svært utfordrende å etablere standardiserte metoder for ombruk av hulldekker, siden prosjektene gjerne har stor variasjon i både utforming, utførelse og omfang. Følgelig blir det også krevende å iverksette tiltak som er generelle nok til å omfatte alle aktører i næringen.

8 Refleksjon

Under oppstarten av prosjektet høsten 2022, ble det foretatt en forventningsavklaring. Der ble det avklart hvilke forventninger vi hadde til resultat, arbeidsinnsats og prosjektet i sin helhet. Videre ble det gått gjennom potensielle utfordringer, styrker og svakheter innad i gruppa, før det ble tildelt oppgaver som skulle samsvare med medlemmenes respektive egenskaper. Forventningsavklaringen ga gruppen gode forutsetninger for å gjennomføre prosjektet på en effektiv måte. Innad i gruppen har det vært lav terskel for å ta opp saker, noe som har bidratt til mye god, faglig diskusjon.

8.1 Problemdefinering

Prosessen bak prosjektarbeidet har vært lærerik, og oppgaven har gitt oss muligheten til å dypdykke i et tema som vi anser som både interessant og dagsaktuelt. Gjennom våren ble det viet mye tid til å finne en problemstilling og avgrensning som skulle legge til rette for å oppnå et resultat som var nyttig for bransjen. Etter drøfting av ulike problemstillinger innad i gruppa, kom vi frem til tre forslag som alle omhandlet materialutnyttelse. Vi ønsket å produsere en oppgave som kan bidra til utvikling, og etter samråd med veiledere og aktører i bransjen, endte vi med å se på ombruk av hulldekker.

Sommeren 2022 ble den nye standarden for ombruk av hulldekker publisert. Vi ønsket å studere denne nærmere, da den løser flere utfordringer knyttet til ombruk, blant annet ved å systematisere de ulike delene som inngår i prosessen. I tillegg angir den konkrete beskrivelser for hvordan man oppfyller dagens dokumentasjonskrav for brukte hulldekker. Videre ble det i juli 2022 vedtatt flere endringer i forskrifter som omhandler byggenæringen, der enkelte av endringene har til hensikt å gjøre det enklere å benytte seg av brukte byggevarer. Dette viser at ombruksmarkedet er under utvikling, noe som gjorde det spennende å utforske nærmere.

I utgangspunktet ønsket vi å se på kostnader og utslipp knyttet til fabrikkhallen på

Blindheim, men det ble tidlig besluttet å heller ta for oss et fiktivt prosjekt. Grunnen til dette var at fabrikkbygget kun er utført med 16 hulldekker, noe som gir et lite generaliserbart grunnlag for kostnadsberegninger. Kravene til minste prøveomfang i standarden for ombruk av hulldekker krever en fullskalatest per 50 dekker og minimum to kjerneprøver for produksjonsserier med opp til 20 dekker. Ved å øke omfanget av dekker til over 50, vil man dermed få lavere testkostnader per element.

8.2 Validitet og reliabilitet

Per i dag finnes det ikke en standardisert metode for demontering av hulldekker. Flere aktører ser på muligheten for utvikling av bedre løsninger, men mange av disse er ikke tilgjengelig for allmennheten. Effektivisering av ulike ledd i prosessen vil gi konkurransefortrinn, noe som medfører at det er få som har publisert sine erfaringer med ombruk. Som konsekvens av dette er det lite datagrunnlag på temaet, det er få fysiske referanseprosjekter, og de aktuelle aktørene holder tilbake på sine estimater.

Siden vi kun tar utgangspunkt i kostnader for ett fiktivt prosjekt, er det viktig å understreke forutsetningene for dette spesifikke eksempelet. Kostnader knyttet til byggetid, transport, beliggenhet og tykkelse på støp kan trolig bidra til stor variasjon i utfall. Videre er det viktig å påpeke at priser vil variere utifra spesifikke forhandlinger som blir utført mellom entreprenør og leverandør, i tillegg til geografiske prisforskjeller. Vi har kompensert for dette ved å hente inn priser fra flere aktører, og forsøkt etter beste evne å gi realistiske estimater.

Det er usikkerhet i klimagassregnskapet vårt når det kommer til validitet. Prosessen for ombruk av hulldekker er ikke godt nok etablert, og det kan være vi har sett bort fra ledd som kan føre til store avvik. Eksempelvis er det ikke tatt høyde for utslipp knyttet til maskinene som benyttes til testing og de korte transportdistansene ekskluderer generaliserbarheten for prosjekter med landlig beliggenhet.

8.3 Videre arbeid

Oppgaven tar for seg et nyetablert marked, noe som fører til at innovative løsninger vil være en sentral del av det videre arbeidet. Det vil være interessant å se på utvikling av nye sammenføyninger, nye metoder for demontering og standardisering for testing og bearbeiding.

I oppgaven har det blitt fokusert på konsekvenser ved ombruk sett fra et næringsperspektiv. Det kan være fordelaktig å også undersøke hvilke resultater ombruk av hulledekker kan føre til for hver enkelt aktør, slik at man tydeliggjør mulighetene som finnes ved å velge ombruk. Parallelt med fordeling av økonomiske og klimamessige konsekvenser, bør de praktiske belastningene ved å være ansvarshavende avklares. Elementene skal demonteres på byggeplass, bearbeides, testes, mellomlagres og transporteres i flere omganger før de monteres i nytt bygg. De mange prosessene innebærer flere risikofaktorer. Det kan i dag knyttes stor usikkerhet opp mot prissetting, tidsestimering og rate for vellykkede demonteringer i prosjekter. Videre arbeid og forsøk vil bidra til å redusere denne usikkerheten.

Referanseliste

- Andrew, Robbie. M. (2019). «Global CO_2 emissions from cement production, 1928–2018». I: *Earth System Science Data* 11.4, s. 1675–1710. DOI: 10.5194/essd-11-1675-2019. URL: <https://essd.copernicus.org/articles/11/1675/2019/>.
- Ask, Alf Ole (3. mai 2023). *EUs store klimapakke er snart vedtatt - 55 prosent kutt i 2030*. Energi og Klima. URL: <https://energiogklima.no/nyhet/brussel/europaparlamentet-og-eus-ministerrad-avgjor-na-norges-klimapolitikk/> (sjekket 20. apr. 2023).
- AV Ombruk (2023). *AV Ombruk – Alt som kan brukes, skal brukes på nytt*. AV-Ombruk. URL: <https://av-ombruk.no/> (sjekket 20. mai 2023).
- Bakshi, R. Bhavik (2019). «Sustainable engineering». I: *Sustainable engineering principles and practice*. Cambridge, United Kingdom, s. 52–53. (Sjekket 18. apr. 2023).
- Bell, Kolbein (2014). *Konstruksjonsmekanikk Del 1 - Likevektslære*. Trondheim: Fagbokforlaget. ISBN: 978-82-450-1685-7.
- Bergvall, Anne Sofie Lid (23. mar. 2023). *Byggebransjen vil reguleres strengere. Regjeringen er klimabrems, mener Høyre*. URL: <https://e24.no/i/O8abql> (sjekket 11. mai 2023).
- Betong Norge (3. mai 2023). *Forskningsprosjekt på hulldekkekonstruksjoner og montasjefasen*. Betong Norge. URL: <https://www.betong.no/artikkelarkiv/2023/forskningsprosjekt-pa-hulldekkekonstruksjoner-og-montasjefasen/> (sjekket 3. mai 2023).
- Betongelementforeningen (2011). *Betongelementboken - Bind H*. ISBN: 978-82-993192-5-6. URL: <https://betongelementboka.betong.no/betongapp/BookH.asp?isSearch=0&lilD=Forord&DocumentId=BindH/Forord.pdf&BookId=H> (sjekket 9. mai 2023).
- (2020). *Betongelementboken - Bind B*. ISBN: 978-82-999815-3-8. URL: <https://betongelementboka.betong.no/betongapp/BookB.asp?isSearch=0&lilD=Forord&DocumentId=BindB/Forord.pdf&BookId=B>; (sjekket 9. mai 2023).

-
- BRE Group (20. jul. 2022). *EU Taxonomy - Sustainable Construction & Real Estate - BREEAM*. URL: <https://bregroup.com/products/breeam/breeam-solutions/breeam-disclosures-and-reporting/eu-taxonomy/> (sjekket 7. mai 2023).
- Brekkehus, Arve (24. mar. 2020). *Hulldekker fra regjeringskvartalet ombrukes på storbylegevakta*. Section: Bygg. URL: <https://www.bygg.no/article/1428053!/> (sjekket 9. mai 2023).
- Brundtlandkommisjonen (1988). *Vår felles framtid*. Oslo: Felleskampanjen for jordas miljø og utvikling. URL: https://urn.nb.no/URN:NBN:no-nb_digibok_2014062307113 (sjekket 20. mai 2023).
- Byggordboka (3. jul. 2018). *Byggordboka - Byggevareforordningen*. URL: <https://www.byggordboka.no/artikkel/les/byggevareforordningen> (sjekket 19. mai 2023).
- Dekkesystemer AS (2023). *Om hulldekker*. URL: <https://dekkesystemer.no/hulldekker/om-hulldekke/> (sjekket 26. apr. 2023).
- DFØ (15. des. 2022). *Ny rapport viser hva som sinker sirkulærøkonomien i byggenæringen — Anskaffelser.no*. Direktoratet for forvaltning og økonomistyring. URL: <https://anskaffelser.no/sites/default/files/2023-01/Sirkular-okonomi-i-BAE-naringen.pdf> (sjekket 11. mai 2023).
- DiBK (19. okt. 2013). *Obligatorisk og frivillig CE-merking*. Direktoratet for Byggkvalitet. URL: <https://dibk.no/byggevarer/finn-byggevare-og-dokumentasjonskrav/krav-til-dokumentasjon/obligatorisk-og-frivillig-ce-merking-og-ytelseserklaring/> (sjekket 26. apr. 2023).
- (20. mai 2021). *Veileder for salg av gamle byggevarer*. Direktoratet for Byggkvalitet. URL: <https://dibk.no/om-oss/Nyhetsarkiv/veileder-for-salg-av-gamle-byggevarer> (sjekket 26. apr. 2023).
- (7. jan. 2022a). *§ 12-2. Ansvarlig søkers ansvar. I: Direktoratet for byggkvalitet*. URL: <https://dibk.no/regelverk/sak/3/12/12-2> (sjekket 10. mai 2023).
- (7. jan. 2022b). *§ 12-3. Ansvarlig prosjekterendes ansvar. I: Direktoratet for byggkvalitet*. URL: <https://dibk.no/regelverk/sak/3/12/12-3> (sjekket 11. mai 2023).
- (7. jan. 2022c). *§ 12. Vurdering og verifikasjon av byggevarers ytelser. I: Direktoratet for byggkvalitet*. URL: <https://dibk.no/regelverk/dok/iii/12> (sjekket 11. mai 2023).
-

-
- DiBK (7. jan. 2022d). § 9. *Virkeområde for kapittel III. I: Direktoratet for byggkvalitet*. URL: <https://dibk.no/regelverk/dok/iii/9> (sjekket 11. mai 2023).
- (2023a). § 17-1. *Klimagassregnskap fra materialer*. Direktoratet for byggkvalitet. URL: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/17/17-1> (sjekket 20. mai 2023).
- (2023b). 10. *Frivillig CE-merking og ytelseserklæring (rett til å CE-merke)*. Direktoratet for byggkvalitet. URL: <https://dibk.no/regelverk/dok/veiledning-til/10-frivillig-ce-merking-og> (sjekket 18. mai 2023).
- (2023c). 12. *CE-merking*. Direktoratet for byggkvalitet. URL: <https://dibk.no/regelverk/dok/veiledning-til/12-ce-merking> (sjekket 18. mai 2023).
- (2023d). 9. *Obligatorisk CE-merking og ytelseserklæring (plikt til å CE-merke)*. Direktoratet for byggkvalitet. URL: <https://dibk.no/regelverk/dok/veiledning-til/9-obligatorisk-ce-merking-og> (sjekket 18. mai 2023).
- Energi og Klima (7. mai 2020). *Hva er Klimakur 2030?* Energi og Klima. Section: annonsørinnhold. URL: <https://energiogklima.no/annonsoerinnhold/kommunalbanken/hva-er-klimakur-2030/> (sjekket 18. mai 2023).
- Enova, Multiconsult og Loopfront (aug. 2021). *Regionale ombruksnettverk for byggematerialer og inventar - Sluttrapport*. URL: <https://f.hubspotusercontent40.net/hubfs/6748445/Regionale%20ombruksnettverk%20-%20Sluttrapport%20Nettversjon.pdf> (sjekket 18. apr. 2023).
- epd-norway (15. apr. 2015). *Hva er en EPD?* EPD Norge. URL: <https://www.epd-norge.no/hva-er-en-epd/> (sjekket 11. mai 2023).
- Erna Solbergs regjering (17. jan. 2019). *Granavolden-plattformen*. Regjeringen 2019. URL: <https://www.regjeringen.no/contentassets/7b0b7f0fcf0f4d93bb6705838248749b/plattform.pdf> (sjekket 23. apr. 2023).
- EU (14. jun. 2018). *Directive 2008/98/EC of the European parliament and of the council*. (Sjekket 20. mai 2023).
- Falck, Fredrik With, Helle Bergitte Nilsen og Odin Høyland Gundesø (2022). «Demonterbare knutepunkt i hulldekkeskive». Bachelor thesis. NTNU. URL: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/3007031> (sjekket 12. mai 2023).
-

-
- Fjeldheim, Henning mfl. (2019). «Forsvarlig ombruk av byggevarer». I: URL: <https://dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/forsvarlig-ombruk-av-byggevarer-resirqel-2019.pdf> (sjekket 7. mai 2023).
- FN (2. mai 2023a). *Ansvarlig forbruk og produksjon*. URL: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ansvarlig-forbruk-og-produksjon> (sjekket 9. mai 2023).
- (31. jan. 2023b). *Industri, innovasjon og infrastruktur*. URL: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/industri-innovasjon-og-infrastruktur> (sjekket 9. mai 2023).
- (2. feb. 2023c). *Stoppe klimaendringene*. URL: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/stoppe-klimaendringene> (sjekket 9. mai 2023).
- Fuglseth, Mie mfl. (16. okt. 2020). *KLIMAVENNLIGE BYGGEMATERIALER POTENSIAL FOR UTSLIPPSKUTT OG BARRIERER MOT BRUK*. Oppdrag fra ENOVA. Sandvika: Asplan Viak, s. 224. (Sjekket 23. mar. 2023).
- Futurebuilt (11. sep. 2022). *Kristian August gate 13*. Futurebuilt. URL: <https://www.futurebuilt.no/Forbildeprosjekter#!/Forbildeprosjekter/Kristian-August-gate-13> (sjekket 9. mai 2023).
- (2023). *Om oss*. FutureBuilt. URL: <https://www.futurebuilt.no/Om-oss#!/Om-oss> (sjekket 18. mai 2023).
- Granab AB (2023). *Fordelene*. GRANAB. URL: <https://www.granab.se/fordelene/?lang=no> (sjekket 10. mai 2023).
- Grønn Byggallianse (22. feb. 2023a). *EUs taksonomi - nye rammebetingelser for bærekraft*. Grønn Byggallianse. URL: <https://byggalliansen.no/kunnskapssenter/nye-rammebetingelser-for-baerekraft-i-bygg-og-eiendom/#1606741518566-fcb1b83b-4b8a> (sjekket 27. apr. 2023).
- (5. mar. 2023b). *Ombruk i byggeprosjekter*. Grønn Byggallianse. URL: <https://byggalliansen.no/kunnskapssenter/ombruk-i-byggeprosjekter/> (sjekket 3. mai 2023).
- (2023c). *Klimakur for bygg og eiendom*. URL: <https://byggalliansen.no/kunnskapssenter/publikasjoner/infopakkeklimakjempen/> (sjekket 23. apr. 2023).
- Hatling, Morten mfl. (2020). *Framsikt 2050*. SINTEF. URL: <https://www.sintef.no/contentassets/ccf2bfe7339a4a75af3a5a8bfafdccff/framsikt-2050-rapport.pdf>.
-

-
- Hindklev, Jørn (8. okt. 2020). «Byggenæringen kan kutte utslipp tilsvarende 2,3 millioner bensinbiler: - Vi er den verste næringen». I: *Byggeindustrien (bygg.no)*. URL: <https://www.bygg.no/byggenaeringen-kan-kutte-utslipp-tilsvarende-2-3-millioner-bensinbiler-vi-er-den-verste-naeringen/1439709/>.
- Høydahl, Vilde Vår og Hanna Katarina Walter (2020). «Ombruk av byggematerialer og - produkter i et bærekraftperspektiv - Vurdering av miljøeffekt og kartlegging av potensialet for en oppskalering av ombruksmarkedet». Accepted: 2021-04-16T11:00:04Z. Master thesis. NTNU. URL: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2738114> (sjekket 4. mai 2023).
- KLD (9. sep. 2022). *Representantforslag 254 S (2021-2022) om en mer sirkulær økonomi*. URL: <https://www.stortinget.no/globalassets/pdf/innstillinger/stortinget/2022-2023/inns-202223-124s-vedlegg.pdf> (sjekket 27. apr. 2023).
- Kommunal- og moderniseringsdepartementet (2023). *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift) - Lovdata*. URL: <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2017-06-19-840> (sjekket 2. mai 2023).
- Larsen, Hogne Nersund (14. mai 2019). *Bygg- og anleggssektorens klimagassutslipp*. Asplan Viak. URL: https://www.bnl.no/siteassets/dokumenter/rapporter/klimautslipp_bae_2019.pdf (sjekket 23. apr. 2023).
- Larsen, Hogne Nersund, Henriette Mo Sandberg og Erik Heggelund (18. mar. 2022). *Klimabidrag bygg & anlegg*. Asplan Viak. URL: <https://www.eba.no/siteassets/dokumenter/rapporter-og-publikasjoner/rapport-bygg-og-anlegg-endelig.pdf> (sjekket 11. apr. 2023).
- Larsen, Per Kr. (2008). *Konstruksjonsteknikk - Laster og bæresystemer*. 2. utg. Trondheim: Fagbokforlaget.
- Lea, Ada (24. jan. 2023). *klimaverstingen vil bli strengere regulert - regjeringen vil vente: - Håpløst*. E24. URL: <https://e24.no/energi-og-klima/i/pQnxx1/klimaverstingen-vil-bli-strengere-regulert-regjeringen-vil-vente-haaploest> (sjekket 27. apr. 2023).
- Lindberg, Helene Øyangen (4. nov. 2023). *Avfallshierarki*. I: *SNL*. LOOP - Stiftelsen for Kildesortering og Gjenvinning. URL: <https://snl.no/avfallshierarki> (sjekket 23. apr. 2023).
-

-
- Miljødirektoratet (7. nov. 2022a). *Klimagassutslipp fra avfall i Norge*. Miljøstatus. URL: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/klimagassutslipp-fra-avfall/> (sjekket 9. mai 2023).
- (29. aug. 2022b). *Ombruk av byggematerialer i Trondheim kommune - Miljødirektoratet*. Miljødirektoratet/Norwegian Environment Agency. URL: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klimasats/2020/ombruk-av-byggematerialer-i-trondheim-kommune/> (sjekket 13. mai 2023).
- Miljødirektoratet mfl. (2020). «Klimakur 2030: Tiltak og virkemidler mot 2030». I: URL: <https://www.regjeringen.no/contentassets/1092a287729448e5826b0df5832794bd/klimakur-2030.pdf> (sjekket 19. mai 2023).
- Maage, Magne mfl. (2016). *TKT 4215 : Concrete technology 1*. Trondheim: Institutt for konstruksjonsteknikk, NTNU.
- Naber, N. R. (2012). «Reuse of hollow core slabs from office buildings to residential buildings». I: URL: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Aa04416b7-e8c0-499d-81c7-48c51b5e7fda> (sjekket 2. mai 2023).
- NOBI (1. jul. 2016). *Produktkatalog*. URL: <https://www.nobi.no/wp/wp-content/uploads/2016/01/Tverrsnitt-Hulldekke-NOBI.pdf> (sjekket 25. apr. 2023).
- Nordby, Anne Sigrid, Randi Lunke og Rune Andersen (20. jan. 2021). *KA13 Erfaringsrapport ombruk*. Oslo: Entra ASA, s. 66. URL: <https://insenti.no/wp-content/uploads/2021/01/KA13-Erfaringsrapport-ombruk-20.01.2021.pdf> (sjekket 3. mai 2023).
- Norsk Betongforening (2020). *Lavkarbonbetong*. 37. Norsk Betongforening.
- Ombygg (16. apr. 2023a). *Tjenester*. Ombygg. URL: <https://www.ombygg.no/tjenester> (sjekket 16. apr. 2023).
- (2023b). *Ombygg*. Ombygg. URL: <https://www.ombygg.no> (sjekket 20. mai 2023).
- Peab K. Nordang (2023). *Om oss*. Om oss. URL: <https://nordang.no/om-oss/> (sjekket 12. apr. 2023).
- Regjeringen (12. aug. 2020). *Dette er klimakvoter*. Regjeringen.no. Publisher: regjeringen.no. URL: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/klimakvoter/id2076655/> (sjekket 9. mai 2023).
-

-
- Regjeringen Støre (2021). *Hurdalsplattformen*. Regjeringen 2021. URL: <https://www.regjeringen.no/contentassets/cb0adb6c6fee428caa81bd5b339501b0/no/pdfs/hurdalsplattformen.pdf> (sjekket 23. apr. 2023).
- Rehub (2023). *Home - Rehub*. Rehub. URL: <https://www.rehub.no/> (sjekket 20. mai 2023).
- Reppe, Ingrid Staveland (30. mai 2021). «Ombruk av betongelementer». Ph.d.-avh. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. URL: <file:///C:/Users/Kristoffer/Downloads/Ombruk%20av%20betongelementer.pdf> (sjekket 23. apr. 2023).
- Sandaker, Bjørn Normann, Malvin Sandvik og Bjørn Vik (2003). *Materialkunnskap*. Lillestrøm: Byggenæringens forlag.
- Sandberg, Eli og Ann Kristin Kvellheim (11. jan. 2021). *Ombruk av byggematerialer - MARKED, DRIVERE OG BARRIERER*. Notat. Trondheim: SINTEF, s. 36. (Sjekket 23. mar. 2023).
- SINTEF (2015). *572.231 Gulvavrettingsmasser. Typer, egenskaper og utførelse. I: Byggforsk*. SINTEF. URL: <https://www.byggforsk.no/dokument/2957> (sjekket 25. apr. 2023).
- Sirkbygg (11. apr. 2022). *SirkBygg*. www.skanska.no. URL: <https://www.skanska.no/hvem-vi-er/barekraft/miljo-og-gronne-losninger/innovasjon-og-fou/sirkbygg/> (sjekket 12. mai 2023).
- Skanska AS (11. apr. 2022). *Oslo Storbylegevakt*. www.skanska.no. URL: <https://www.skanska.no/hva-vi-gjor/bygg/helsebygg/oslo-storbylegevakt/> (sjekket 9. mai 2023).
- Skanska Norge (22. apr. 2020). *Hulldekker i betong bruke på nytt for første gang*. URL: <https://shorturl.at/msGS1> (sjekket 19. mai 2023).
- Spenncon AS (2023). *Hulldekk*. URL: <https://spenncon.no/produkter/hulldekk/> (sjekket 20. apr. 2023).
- SSB (2021). *12817: Foreløpige tall for antall foretak, sysselsatte og omsetning, etter næring (SN2007), statistikkvariabel og år*. URL: <https://www.ssb.no/statbank/table/12817/tableViewLayout1/> (sjekket 26. apr. 2023).
- (13. des. 2022). *Avfall fra byggeaktivitet*. SSB. URL: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/avfall/statistikk/avfall-fra-byggeaktivitet> (sjekket 8. mai 2023).

-
- Standard Norge (1. jan. 2019). *Eurokode 1: Laster på konstruksjoner Del 1-1: Allmenne laster Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger*.
- (30. jun. 2021). *Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger*. Standard Norge.
- (18. feb. 2022). *NS 3682:2022*. URL: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1407012> (sjekket 3. mai 2023).
- (25. jan. 2023). *Norsk Standard for hulldekker av betong til ombruk – NS 3682 – standard.no*. URL: <https://www.standard.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/byggevarer/norsk-standard-for-hulldekker-av-betong-til-ombruk--ns-3682/> (sjekket 3. mai 2023).
- Strand, Sindre Sverdrup (20. apr. 2023). «Norsk AI-startup vil gjøre elementbygging elementært». I: *Byggeindustrien*. URL: <https://shorturl.at/ftuW9> (sjekket 20. apr. 2023).
- Sweco (2023). *3D-scanner for effektiv drift og vedlikehold av bygningsmasser*. Sweco. URL: <https://www.sweco.no/aktuelt/nyheter/3d-scanner-for-effektiv-drift-og-vedlikehold-av-bygningsmasser/> (sjekket 20. apr. 2023).
- Sørensen, Svein Ivar (2013). *Betongkonstruksjoner*. 2. utg. Trondheim: Fagbokforlaget.
- Thue, Jan Vincent (12. jan. 2023). *betong*. I: *Store norske leksikon*. URL: <https://snl.no/betong> (sjekket 3. mai 2023).
- Tollefsen Moen, Ole Martin og Stine Eriksrød (18. aug. 2022). *Endringer i byggeforskrifter for å tilrettelegge for ombruk av byggevarer*. URL: <https://www.kvale.no/artikler/endringer-i-byggeforskrifter-for-a-tilrettelegge-for-ombruk-av-byggevarer/> (sjekket 13. apr. 2023).
- Tybring-Gjedde, Mathilde og Nikolai Astrup (24. mai 2022). *Representantforslag 254 S - 2021 - 2022*. URL: <https://www.stortinget.no/globalassets/pdf/representantforslag/2021-2022/dok8-202122-254s.pdf> (sjekket 27. apr. 2023).

