

Sofie Bang

Avfallsfrie byggeplasser

Fra ambisjon til praksis

Masteroppgave i Produktutvikling og produksjon

Veileder: Bjørn Andersen og Nils Olsson

August 2020

Sofie Bang

Avfallsfrie byggeplasser

Fra ambisjon til praksis

Masteroppgave i Produktutvikling og produksjon
Veileder: Bjørn Andersen og Nils Olsson
August 2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for maskinteknikk og produksjon



Kunnskap for en bedre verden

Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på studieprogrammet Produktutvikling og produksjon ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU. Oppgaven er gjennomført våren 2020, og utgjør 30 studiepoeng i emnet TPK4920. Videre er resultatene fra oppgaven tenkt videreført i forbindelse med doktorgrad hos Construction City.

I forbindelse med sommerjobb i Skanska Norge gjennom tre somre i perioden 2017 til 2019 ble jeg introdusert for initiativet avfallsfrie byggeplasser. Bakgrunnen for oppgaven er et ønske om å kartlegge hvilke tiltak som kan bidra til avfallsreduksjon, hvordan disse bør implementeres, hvordan kunstig intelligens kan bidra, og hvilke implikasjoner dette kan ha for bærekraft i prosjektet. Motivasjonen for å arbeide i og for en grønnere bransje har vokst i takt med oppgavedokumentet, og jeg ser frem til videre arbeid med doktorgraden.

Jeg ønsker å rette en stor takk til alle som gjorde oppgaven mulig å gjennomføre. Jeg vil takke mine veiledere hos NTNU, Bjørn Andersen og Nils Olsson, for verdifulle innspill og oppfølging underveis. Videre vil jeg takke min veileder hos Skanska, Pablo Gonzalez, for all hjelp underveis og i somrene som ledet frem til arbeidet med oppgaven. Jeg ønsker også å takke familie og venner, som har korrekturlest oppgaven, og bidratt med støtte gjennom hele prosessen. Til slutt vil jeg rette en stor takk til alle informanter som har tatt seg tid til å stille opp, og alle som har bidratt med innspill og erfaringer underveis. Tusen takk!

Trondheim

31. august 2020

Sofie Bang

Sofie Bang

Sammendrag

I en byggenæring som stadig vokser, og per dags dato representerer nesten 40 % av verdens energibruk og energirelaterte klimagassutslipp, vokser behovet for mer bærekraftige løsninger like fort. Sirkulær tankegang og optimal avfallshåndtering vil være blant bransjens viktigste tiltak for å oppfylle nasjonale og internasjonale ambisjoner og mål om reduksjon av utslipp. Bransjen har et betydelig potensial for økt produktivitet og bærekraft, og det antas å ligge et stort potensial i utnyttelsen av ny teknologi, digitalisering og kunstig intelligens. Formålet med oppgaven er å besvare følgende definerte forskningsspørsmål:

1. Hvilke tiltak er relevante for reduksjon av prioriterte avfallsfraksjoner?
2. Hvordan kan de identifiserte tiltakene implementeres?
3. Hvordan kan kunstig intelligens bidra i implementeringen av tiltakene?
4. Hvordan kan de identifiserte tiltakene bidra til økt bærekraft i prosjektet?

Opgaven tar entreprenørens perspektiv, og fokuserer på nybyggprosjekter. Videre er fraksjonene trevirke, gips, papp og papir, plast og restavfall prioritert.

Spørsmålene er besvart ved et forskningsdesign basert på både kvalitative og kvantitative metoder, herunder litteratursøk, en spørreundersøkelse distribuert til ansvarlige for avfallshåndtering, 18 semistrukturerte dybdeintervjuer, 14 strukturerte intervjuer per mail, dokumentanalyse, gjennomføring av kurs, deltakelse på seminar og webinar, befaring på byggeplass, samt en omvisning hos Norsk Gjenvinnings anlegg.

Opgaven har totalt identifisert 60 tiltak for avfallsreduksjon på byggeplassen. Overordnet anbefales tiltak knyttet til definisjon av hensiktsmessige mål, en tydelig plan og tydelige rutiner, samt transparent og fortløpende måling og rapportering av avfallsmengder. For trevirke og gips kan økt bruk av digitale verktøy for bestilling av mer nøyaktige mengder materiale, øremerking av materiale på byggeplass, samt økt bruk av pre-kutt og pre-fab være hensiktsmessig. For papp og papir og plast anbefales avtaler med leverandør for færre og større forsendelser. Fraksjonen for restavfall kan reduseres ved å øke sorteringsgraden i prosjektet.

Sammendrag

Videre har oppgaven avdekket hvilke prosjektfaser de aktuelle tiltakene anbefales implementert i. Undersøkelser tyder på at bearbeiding av konsept og detaljprosjektering er særlig egnede faser for implementering av overordnede tiltak; bearbeiding av konsept og detaljprosjektering er også særlig aktuelle faser for tiltak rettet mot trevirke og gips. Tiltak rettet mot emballasje bør implementeres mellom bearbeiding av konsept og produksjon. Det samme gjelder i stor grad fraksjonen restavfall.

Flere av de identifiserte tiltakene vurderes å kunne implementeres ved hjelp av verktøy basert på kunstig intelligens. Maskinlæring, kunnskapsbaserte systemer, evolusjonære algoritmer, hybridsystemer og robotikk er alle teknikker som vurderes hensiktsmessige. Undersøkelser tyder på at kunstig intelligens vil være mest effektivt i kombinasjon med allerede etablerte verktøy, og andre eksisterende digitale løsninger.

Til slutt har oppgaven vurdert hvilke implikasjoner disse tiltakene kan ha for bærekraft i prosjektet. Økonomiske gevinster kan inkludere reduserte kostnader knyttet til innkjøp av materialer, avhending av materialer, samt reduserte timeverk som følge av redusert sløsing for øvrig. Miljømessige gevinster inkluderer redusert forbruk av ressurser, samt reduserte utslipp knyttet til utvinning av råstoffer og transport. Gevinster for sosiale forhold inkluderer en ryddigere og sikrere byggeplass, redusert behov for bruk av anleggsmaskiner og utstyr, samt langsiktig økt rekruttering som følge av bedre arbeidsforhold for fagarbeidere.

Abstract

In an ever-growing construction industry, today accountable for nearly 40 % of worldwide energy consumption and energy-related greenhouse gas emissions, the need for more sustainable solutions is growing fast. Implementing circular thinking and optimal waste management will be among the most important courses of action in order to fulfill national and international ambitions to reduce emissions. The industry has a considerable potential for increased productivity and sustainability, and a significant potential is assumed to lie within the utilization of new technology, digitalization and artificial intelligence. The purpose of this study is to answer the following research questions:

1. What measures are suitable for reduction of the prioritized waste fractions?
2. How can the identified measures be implemented?
3. How can artificial intelligence contribute to the implementation of the measures?
4. How can the identified measures contribute to sustainability in the project?

The report takes on the perspective of the contractor and focuses solely on new construction projects. Furthermore, the waste fractions of wood, plaster, cardboard and paper, plastics and mixed waste are prioritized.

The research questions were answered through utilization of both qualitative and quantitative methods, including a literature search, 18 semi-structured in-depth interviews, 14 structured interviews by mail, a questionnaire, a document analysis, courses, attendance to seminars and webinars, a construction site visit, as well as a tour of the Norsk Gjenvinning facilities.

The report has identified 60 potential measures for waste reduction on the construction site. General recommendations are related to defining appropriate goals, a clear plan and explicit procedures, as well as transparently and continuously measuring and reporting waste quantities. For wood and plaster, increased use of digital tools for ordering accurate quantities of material is recommended, as well as earmarking of materials on site, and increased use of pre-cuts and pre-fab. For cardboard and paper, and plastic, an agreement with the supplier for fewer and larger shipments could be appropriate. The fraction of mixed waste can be reduced by increasing the degree of sorting in the project.

Abstract

Furthermore, the report recommends appropriate project phases for each of the identified measures. The research indicates that concept specification and construction detailing are particularly suitable phases for the implementation of general and overall measures; furthermore, concept specification and construction detailing appear to be especially suited for the implementation of measures aimed towards the reduction of wood and plaster specifically. Measures aimed at packaging - cardboard and paper, and plastic - should be implemented between concept specification and production. The same applies for the fraction of mixed waste.

Artificial intelligence appears to be relevant for the implementation of several recommended measures. Machine learning, knowledge-based systems, evolutionary algorithms, hybrid systems and robotics are all techniques considered suitable. The research suggests that artificial intelligence will be most efficient in combination with already established tools and digital solutions in the industry.

Lastly, the report has assessed a few benefits related to sustainability, that may be expected after the implementation of the mentioned measures. Financial benefits include reduced costs related to the purchase of materials, disposal of materials, and reduced man hours. Environmental benefits include reduced consumption of resources, reduced emissions associated with the extraction of raw materials, and reduced transport. Benefits for social conditions include a tidier and safer construction site, reduced need for construction equipment, and long-term increased recruitment as a result of improved working conditions.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iv
Innholdsfortegnelse	vi
Figurer	x
Tabeller.....	xii
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Formål og problemstilling	3
1.3 Avgrensninger	4
1.4 Oppgavens oppbygging	6
2 Teori	8
2.1 Avfall i byggeprosjekter	8
2.1.1 Trevirke	10
2.1.2 Gips	11
2.1.3 Papp og papir.....	12
2.1.4 Plast.....	13
2.1.5 Restavfall.....	14
2.2 Etablerte verktøy for avfallsreduksjon	16
2.2.1 Trimmet bygging.....	16
2.2.2 Bærekraftige designvalg.....	18
2.2.3 Samspill.....	19
2.2.4 Sirkulærøkonomi.....	20
2.2.5 Industrialisering og modularisering	21
2.2.6 Digitalisering.....	23

Innholdsfortegnelse

2.3	Kunstig intelligens	26
2.3.1	Maskinlæring.....	27
2.3.2	Kunnskapsbaserte systemer.....	28
2.3.3	Evolusjonære algoritmer	28
2.3.4	Hybridsystemer	29
2.3.5	Robotikk	29
2.4	Kunstig intelligens i byggeprosjekter	30
2.5	Bærekraft	32
2.6	Oppsummering av teoretisk rammeverk.....	36
3	Metode.....	38
3.1	Forskningsdesign	38
3.2	Litteratursøk.....	41
3.3	Analyse av data for avfallsmengder	44
3.4	Spørreundersøkelse.....	45
3.5	Dybdeintervjuer	47
3.6	Intervjuer per mail	49
3.7	Dokumentanalyse	50
3.8	Øvrig datainnsamling	51
3.8.1	Gjennomføring av kurs.....	51
3.8.2	Deltakelse på seminar.....	51
3.8.3	Deltakelse på webinar	52
3.8.4	Prosjektbesøk	53
3.8.5	Besøk hos Norsk Gjenvinning.....	54
3.9	Dataanalyse.....	55
3.9.1	Kvalitativ dataanalyse	55
3.9.2	Kvantitativ dataanalyse	56
3.10	Vurdering av forskningsdesign	57

Innholdsfortegnelse

3.10.1	Reliabilitet	57
3.10.2	Validitet	58
3.10.3	Generaliserbarhet	59
3.10.4	Forskningsetiske retningslinjer	60
4	Resultat	61
4.1	Funn fra analyse av data for avfallsmengder	61
4.2	Funn fra spørreundersøkelse	77
4.3	Funn fra dybdeintervjuer og intervjuer per mail	78
4.4	Øvrige funn	86
5	Diskusjon	90
5.1	Tiltak for avfallsreduksjon	90
5.1.1	Overordnet avfallsreduksjon	90
5.1.2	Reduksjon av fraksjonen trevirke	96
5.1.3	Reduksjon av fraksjonen gips	99
5.1.4	Reduksjon av fraksjonen papp og papir	101
5.1.5	Reduksjon av fraksjonen plast	102
5.1.6	Reduksjon av fraksjonen restavfall	103
5.1.7	Valg av systemgrenser	104
5.2	Implementering av tiltak	106
5.2.1	Overordnet avfallsreduksjon	106
5.2.2	Reduksjon av fraksjonen trevirke	109
5.2.3	Reduksjon av fraksjonen gips	111
5.2.4	Reduksjon av fraksjonen papp og papir	112
5.2.5	Reduksjon av fraksjonen plast	113
5.2.6	Reduksjon av fraksjonen restavfall	114
5.3	Bruk av kunstig intelligens	116
5.3.1	Overordnet avfallsreduksjon	116

Innholdsfortegnelse

5.3.2	Reduksjon av fraksjonen trevirke.....	119
5.3.3	Reduksjon av fraksjonen gips	120
5.3.4	Reduksjon av fraksjonen papp og papir	121
5.3.5	Reduksjon av fraksjonen plast.....	121
5.3.6	Reduksjon av fraksjonen restavfall	122
5.3.7	Implementering av kunstig intelligens	122
5.4	Bærekraft i prosjektet	125
5.4.1	Økonomiske gevinster.....	125
5.4.2	Miljømessige gevinster	126
5.4.3	Sosiale gevinster.....	127
6	Konklusjon	128
6.1	Tiltak for avfallsreduksjon.....	128
6.2	Implementering av tiltak.....	129
6.3	Bruk av kunstig intelligens	130
6.4	Bærekraft i prosjektet	130
6.5	Fremtidig arbeid	131
	Referanser.....	133
	Vedlegg	I
	Vedlegg A: Spørreundersøkelse	I
	Vedlegg B: Svar fra spørreundersøkelse	VII
	Vedlegg C: Intervjuguide - Avfallsreduksjon	XVII
	Vedlegg D: Intervjuguide - Kunstig intelligens	XX

Figurer

Figur 1: Utvalgte bransjers potensial til å redusere sine klimagassutslipp (IPCC, 2017).....	2
Figur 2: Avfallshierarkiet (LOOP, 2018b).....	9
Figur 3: Faser i byggeprosjektet (Bygg21, 2015; NHP-nettverket, 2016).	10
Figur 4: Avfallsfraksjoner som oppstår gjennom produksjonsfasen (NHP-nettverket, 2016). 14	
Figur 5: Lineær og sirkulær økonomi (Årim, 2015).	21
Figur 6: Dimensjoner i BIM (ACCA Software, 2018).....	24
Figur 7: Tre dimensjoner av bærekraftig utvikling (FN-sambandet, 2019a).	32
Figur 8: Hvordan grønne bygg bidrar til bærekraft (Green Building Council, 2019b).....	33
Figur 9: Oppsummering av teoretisk rammeverk.	37
Figur 10: Oppgavens forskningsdesign.....	41
Figur 11: Algoritme benyttet i litteratursøk.	43
Figur 12: Brukergrensesnitt i Grønt Ansvar (Norsk Gjenvinning, u.d. b).	44
Figur 13: Befaring av avfallsstasjon.....	53
Figur 14: Omvisning i Norsk Gjenvinnings anlegg.	54
Figur 15: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt A.....	62
Figur 16: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt B.....	64
Figur 17: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt C.....	65
Figur 18: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt C, første utsnitt.....	66
Figur 19: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt C, andre utsnitt.....	67
Figur 20: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt D.....	69
Figur 21: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt E.....	70
Figur 22: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt F.	71
Figur 23: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt F, utsnitt.	72
Figur 24: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt G.....	74
Figur 25: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt H.....	75
Figur 26: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt I.	76

Figurer

Figur 27: Implementering av tiltak for overordnet avfallsreduksjon gjennom prosjektet.	109
Figur 28: Implementering av tiltak for reduksjon av trevirke gjennom prosjektet.	111
Figur 29: Implementering av tiltak for reduksjon av gips gjennom prosjektet.	112
Figur 30: Implementering av tiltak for reduksjon av papp og papir gjennom prosjektet.	113
Figur 31: Implementering av tiltak for reduksjon av plast gjennom prosjektet.	114
Figur 32: Implementering av tiltak for reduksjon av restavfall gjennom prosjektet.	115

Tabeller

Tabell 1: Avfall generert fra nybygg, rehabilitering og rivning [tonn] (SSB, 2019a).	5
Tabell 2: Fraksjoner generert fra nybygg, rehabilitering og rivning [tonn] (SSB, 2019a).	5
Tabell 3: Oppgavens oppbygning.	6
Tabell 4: Anbefalte verktøy for avfallshåndtering, fra trimmet bygging (Ansah et al, 2016). 17	
Tabell 5: Teknikker benyttet i bransjerelevante studier (Akinade, 2017).	30
Tabell 6: Vektlagt metode for hvert forskningsspørsmål.	39
Tabell 7: Oversikt over valgte metoder for datainnsamling.	40
Tabell 8: Søkeord og kategorier benyttet i litteratursøk.	42
Tabell 9: Avfallskoder for hver fraksjon i Grønt Ansvar.	45
Tabell 10: Anbefalte tiltak for overordnet avfallsreduksjon.	95
Tabell 11: Anbefalte tiltak for reduksjon av avfallsfraksjonen trevirke.	99
Tabell 12: Anbefalte tiltak for reduksjon av avfallsfraksjonen gips.	100
Tabell 13: Anbefalte tiltak for reduksjon av avfallsfraksjonen papp og papir.	102
Tabell 14: Anbefalte tiltak for reduksjon av avfallsfraksjonen plast.	102
Tabell 15: Anbefalte tiltak for reduksjon av avfallsfraksjonen restavfall.	104
Tabell 16: Tiltak hvor gevinsten avhenger av systemgrensene for prosjektet.	105
Tabell 17: Forventede økonomiske gevinster ved avfallsreduksjon.	126
Tabell 18: Forventede miljømessige gevinster ved avfallsreduksjon.	126
Tabell 19: Forventede sosiale gevinster ved avfallsreduksjon.	127

1 Introduksjon

Introduksjonen vil beskrive bakgrunnen for oppgaven, og med dette gi leseren et innblikk i motivasjonen for oppgaven. Kapittelet vil deretter ta for seg forskningsspørsmålene som har dannet grunnlaget for forskningen. Videre skisseres oppgavens avgrensninger, før kapittelet avslutningsvis presenterer en leserveiledning som beskriver oppgavens oppbygning.

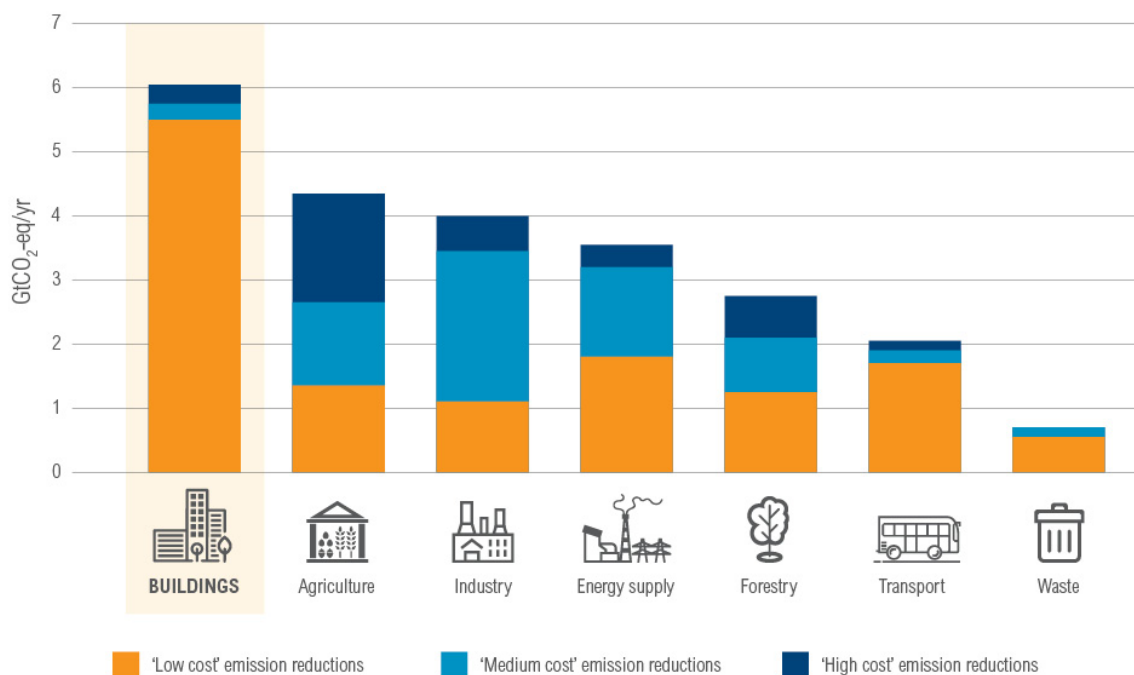
1.1 Bakgrunn

Klimaendringene er en av de største utfordringene verden står overfor i dag, og har allerede påvirket natur og mennesker over hele verden (Miljødirektoratet, 2015; FN, 2018). Nyere studier konkluderer med mer enn 95 % sannsynlighet for at klimaendringene vi nå står overfor er menneskeskapte, og 97 % av klimaforskere er nå enige om at dette er tilfellet (NASA, 2019). Store utslipp av klimagasser sees blant hovedårsakene til oppvarmingen, og konsekvensene kan bli fatale, for natur og mennesker (Miljødirektoratet, 2015; FN, 2018).

Klimaendringene er et internasjonalt problem, og løsningen krever internasjonalt samarbeid (Regjeringen, 2018). For å nå ambisiøse klimamål, nasjonalt og internasjonalt, må en omstilling finne sted (Olerud, 2019); et grønt skifte. I 2015 ble «det grønne skiftet» kåret til årets ord (Språkrådet, 2015). Dette ble en bekreftelse på den stadig økende aktualiteten av klimaspørsmålet som preger nyhetsbildet, populærkultur, akademia og samfunnet for øvrig. Begrepet impliserer en endring i mer miljøvennlig, *grønnere*, retning (Olerud, 2019). I praksis handler det grønne skiftet en omstilling hvor samfunnet tilrettelegger for at vekst og utvikling kan skje på et bærekraftig vis (Regjeringen, 2014). Optimal avfallshåndtering og sirkulær tankegang vil være blant de viktigste tiltakene for å kunne oppfylle nasjonale og internasjonale ambisjoner og mål om reduksjon av utslipp (Avfall Norge, 2016).

Figur 1 illustrerer utvalgte bransjers potensial til å redusere sine klimagassutslipp. Fra figuren fremkommer det tydelig at byggebransjen har et betydelig potensial for løsninger som fremmer bærekraft, med relativt lave kostnader (World Resources Institute, 2016). Grønn Byggallianse og Norsk Eiendom (2016) peker på potensialet byggebransjen representerer, både for reduksjon av klimagasser og oppfyllelse av klimaambisjoner.

Introduksjon



wri.org/buildingefficiency

 WORLD RESOURCES INSTITUTE

Figur 1: Utvalgte bransjers potensial til å redusere sine klimagassutslipp (IPCC, 2017).

Bærekraftsrapporter fra FN viser at reduksjonen av klimagassutslipp haster, og internasjonalt må totale utslipp halveres innen 2031; byggebransjen vil bli et av de viktigste arbeidsområdene for å nå dette målet (Grønn Byggallianse, 2019a).

I april 2019 gikk 11 av de største byggherrene i norsk bygg- og anleggsnæring sammen om å fremme et krav om avfallsfri byggeplass på sine prosjekter innen 2021 (Aas og Moen, 2019; Byggeindustrien, 2019a). Formålet med initiativet er å minimere mengden avfall som oppstår på byggeplass og i produksjon. Avfallsreduksjon har tidligere vært et tema i bransjen, men likevel vokser avfallsmengdene for hvert år som går (Moen, 2017; SSB, 2019a).

Innledende undersøkelser viser at enkelte avfallsfraksjoner har svært høye svinnsprosjenter. Dette betyr at relativt store mengder materialer går gjennom et helt livsløp uten å noen gang ha vært i bruk. Alle steg i materialstrømmen er ressurskrevende, og høye svinnsprosjenter er derfor uheldig både i et økonomisk og miljømessig perspektiv. Litteraturen peker blant annet på

Introduksjon

trevirke, gips, emballasje i form av papp og papir og plast, samt restavfall som fraksjoner med potensial (Hjellnes Consult, 2015; Kartam *et al*, 2014; Rønningen, 2000).

Moen (2017) pekte tidlig på klare gevinster ved avfallsfrie byggeplasser, i form av både redusert materialforbruk og reduserte timetall - og resulterende økt konkurransekraft. Det er ønskelig å utnytte potensialet i valg av løsninger både oppstrøms, nedstrøms og underveis i produksjonen. Per dags dato er dette et relativt lite utforsket felt, i en bransje med antatt stort potensial. Ved å studere tidligere nevnte avfallsfraksjoner vil oppgaven avdekke mulighetene disse fraksjonene representerer i arbeidet mot avfallsfrie byggeplasser, anbefale relevante tiltak for implementering, og vurdere eventuelle implikasjoner for bærekraft.

Sammenlignet med andre bransjer oppfattes byggebransjen lite produktiv (SSB, 2018). Statistikken kan argumenteres å være et resultat av mangelfulle metoder for evaluering av produktivitet i en svært kompleks bransje (Ahmad *et al*, 2020); det er likevel ingen tvil om at potensialet for økt produktivitet og bærekraft i bransjen er betydelig (IPCC, 2017; WEF, 2016). Stadig flere aktører peker på behovet for en helhetlig tilnærming til problemstillingen, med fokus på både prosess, mennesker og teknologi, samt en strukturert innsamling og nyttiggjøring av relevante data (Mejlænder-Larsen, 2019; Saltveit, 2018) - det antas å ligge et stort potensial også i utnyttelsen av ny teknologi, digitalisering og kunstig intelligens. Ved å se nærmere på tilgjengelige teknologier og verktøy klassifisert som kunstig intelligens, vil oppgaven avdekke potensialet disse representerer i arbeidet mot avfallsfrie byggeplasser, og vurdere i hvilken grad de kan bidra i implementeringen av de identifiserte tiltakene og til bærekraft i prosjektet for øvrig.

1.2 Formål og problemstilling

Formålet med oppgaven er å skape en helhetlig tilnærming til avfallsreduksjon på byggeplassen, gjennom å kartlegge og konkretisere relevante tiltak for avfallsreduksjon, og videre undersøke hvordan implementeringen kan foregå i praksis. Spesifikt er det ønskelig å se på hvordan kunstig intelligens kan benyttes i implementeringen av disse tiltakene, og arbeidet mot avfallsfrie byggeplasser, da dette er antatt å utgjøre et betydelig, men foreløpig uutnyttet, potensial. Til slutt vil oppgaven vurdere hvordan tiltakene kan bidra til økt bærekraft i byggeprosjekter. Følgende forskningsspørsmål er definert:

Introduksjon

1. Hvilke tiltak er relevante for reduksjon av prioriterte avfallsfraksjoner?
2. Hvordan kan de identifiserte tiltakene implementeres?
3. Hvordan kan kunstig intelligens bidra i implementeringen av tiltakene?
4. Hvordan kan de identifiserte tiltakene bidra til økt bærekraft i prosjektet?

Første forskningsspørsmål vil ta for seg relevante tiltak for hver av de utvalgte fraksjonene: trevirke, gips, emballasje i form av papp og papir, emballasje i form av plast og restavfall. Andre forskningsspørsmål vil se på hvilke prosjektfaser det vil være hensiktsmessig å implementere tiltakene i, samt hvilke stadier av produksjonsfasen, og hvilke aktiviteter og prosesser tiltakene i størst grad vil påvirke. Tredje forskningsspørsmål vil utforske relevant teknologi og relevante verktøy for bruk i implementeringen av tiltakene, og på hvilken måte disse kan bidra. Fjerde forskningsspørsmål vil konkretisere noen av de forventede bærekraftsgevinstene fra avfallsreduksjonen; sosiale, miljømessige og økonomiske forhold.

Alvesson og Sandberg (2013) peker på formuleringen av forskningsspørsmål som et av de mest kritiske aspektene ved forskningen. For å sikre forskningens relevans og omfang ble forskningsspørsmålene utformet i samråd med veiledere, og personell ved miljøavdelingen hos Skanska. Tilbakemeldinger fra informanter i tidlige faser av arbeidet ble også brukt til finjustering av spørsmålene.

1.3 Avgrensninger

Oppgaven vil ta utgangspunkt i entreprenørens perspektiv. For å videre begrense omfanget ble fem avfallsfraksjoner valgt og prioritert, som skissert i første forskningsspørsmål. Prioriterte fraksjoner er trevirke, gips, emballasje i form av papp og papir og plast, samt restavfall. Begge avgjørelser ble tatt i samråd med personell på miljøavdelingen i Skanska etter innledende undersøkelser knyttet til temaet. Gjennom arbeidet somrene 2017 til 2019 ble disse fraksjonene identifisert som særlig problematiske, enten grunnet volum, sortering, kostnad, total miljøpåvirkning, eller en kombinasjon av nevnte faktorer. Statistikk fra SSB (2019a) bekrefter at dette er store fraksjoner også i bransjen for øvrig.

Introduksjon

For å ytterligere begrense omfanget vil oppgaven først og fremst fokusere på byggeprosjekter i form av nybygg. Som illustrert i Tabell 1 genererer nybygg nesten 35 % av alt avfall fra byggeaktivitet (SSB, 2019a); en betydelig andel. Ettersom tilnærmingen til avfallsreduksjon vil variere for nybygg, rehabilitering og rivning ble det besluttet at én av disse prioriteres for oppgaven. For enkelte av tiltakene kan det være naturlig å snakke om implikasjoner også for byggeprosjekter i form av rehabilitering eller rivning, men nybygg vil være utgangspunktet.

Tabell 1: Avfall generert fra nybygg, rehabilitering og rivning [tonn] (SSB, 2019a).

	Avfallsmengder	Andel	Endring
	2017	2017	2016-2017
Byggeaktivitet i alt	1 896 557	100,0 %	1,1 %
Nybygg	658 339	34,7 %	3,7 %
Rehabilitering	479 402	25,3 %	-8,9 %
Rivning	758 816	40,0 %	6,2 %

Som det fremkommer i Tabell 2 er mengden avfall størst for nybygg for nevnte fraksjoner, og mindre ved rehabilitering eller rivning - det synes derfor nærliggende å anta et betydelig potensial for avfallsreduksjon for disse fraksjonene i nettopp nybyggprosjekter.

Tabell 2: Fraksjoner generert fra nybygg, rehabilitering og rivning [tonn] (SSB, 2019a).

	Byggeaktivitet i alt	Nybygg	Rehabilitering	Rivning
				2017
Totalt	1 896 557	658 339	479 402	758 816
Treavfall	253 529	114 497	92 737	46 295
Papp og papir	21 228	14 184	5 495	1 549
Plast	8 040	6 170	1 561	309
Gips	74 534	48 669	21 209	4 655
Blandet restavfall	284 010	121 341	98 930	63 739

Ved anbefaling av egnede prosjektfaser for implementering av de identifiserte tiltakene vil oppgaven ta utgangspunkt i fasenormen «Neste Steg» (Bygg 21, 2015).

1.4 Oppgavens oppbygging

Den overordnede strukturen for oppgaven er valgt med bakgrunn i anbefalinger fra Rienecker og Jørgensen (2013), Olsson (2011), veiledning under seminar og samlinger, samt råd fra veiledere. Oppgavens oppbygning er beskrevet i Tabell 3.

Tabell 3: Oppgavens oppbygning.

Kapittel	Beskrivelse
Kapittel 1: Introduksjon	Kapittel 1 introduserer oppgavens tema og formål. Bakgrunnen for valg av tematikk er beskrevet, og forskningsspørsmålene som danner grunnlaget for arbeidet er presentert. Kapitlet beskriver videre avgrensningene som er gjort for å holde oppgaven på en omfangsmessig tilfredsstillende nivå, samt oppgavens struktur.
Kapittel 2: Teori	Kapittel 2 utgjør oppgavens teoretiske rammeverk, og har til hensikt å presentere en rekke konsepter og begreper knyttet til utvalgte avfallsfraksjoner, minimering av avfall, kunstig intelligens og bærekraft. Kapitlet vil legge til rette for videre analyse og diskusjon, og tar utgangspunkt i litteratursøket gjennomført i forbindelse med oppgaven.
Kapittel 3: Metode	Kapittel 3 tar for seg metodene anvendt i forskningen, med tilhørende refleksjon omkring bakgrunn for valgte metoder, og hvorvidt valgte metoder egner seg til å besvare de definerte forskningsspørsmålene. Kapitlet reflekterer videre omkring forskningsetiske hensyn, og hvordan valgte metoder kan ha påvirket kvaliteten i oppgaven.
Kapittel 4: Resultat	Kapittel 4 presenterer resultatene som fremkom gjennom bruk av valgte metoder, med utgangspunkt i resultater fra analyse av data for avfallsmengder, spørreundersøkelse, gjennomførte intervjuer og øvrig datainnsamling.

Introduksjon

Kapittel 5: Diskusjon	Kapittel 5 setter oppgavens funn opp mot det teoretiske rammeverket. Diskusjonen legger grunnlaget for å besvare forskningsspørsmålene gjennom drøfting og tolkning av teori og resultater. Kapitlet tar for seg aktuelle tiltak, implementering av tiltak, bruk av kunstig intelligens i implementering, og implikasjoner for bærekraft.
Kapittel 6: Konklusjon	Avslutningsvis er en konklusjon basert på oppgavens forskningsspørsmål presentert i Kapittel 6. Kapitlet reflekterer over oppgavens posisjon i et større perspektiv, og hvilket grunnlag oppgaven legger for videre arbeid.

2 Teori

Kapitlet presenterer det teoretiske grunnlaget for oppgaven, utformet på bakgrunn av gjennomført litteratursøk. Sentrale tema er avfall i byggeprosjekter, etablerte verktøy for avfallsreduksjon, kunstig intelligens, kunstig intelligens i byggeprosjekter, og bærekraft.

2.1 Avfall i byggeprosjekter

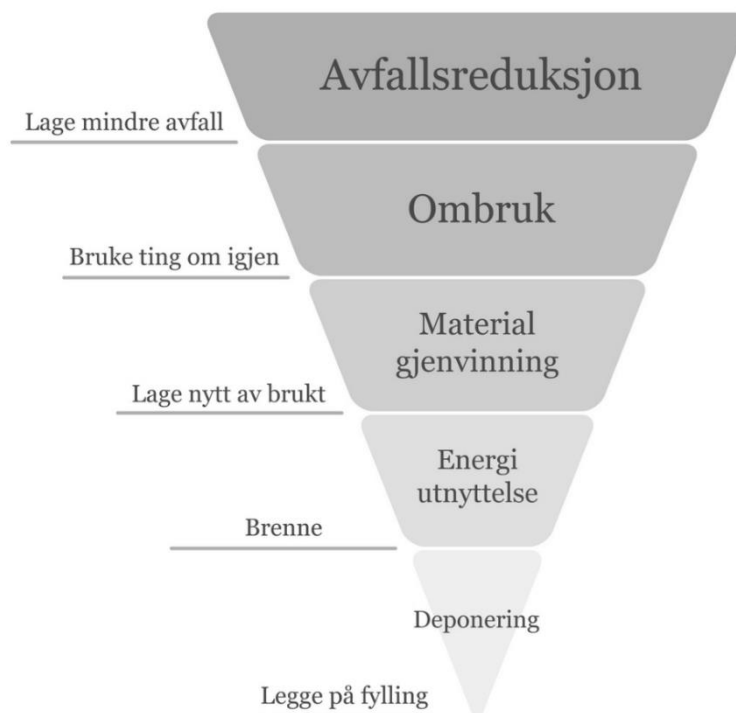
Forurensningsloven (2019) definerer avfall som følger:

Med avfall menes løseobjekter eller stoffer som noen har kassert, har til hensikt å kassere eller er forpliktet til å kassere.

Generering av avfall er i mange tilfeller et resultat av ineffektivt bruk av materialer, og koster både i form av økonomiske og miljømessige belastninger. Det er dermed, som skissert innledningsvis, flere gode grunner til å arbeide mot avfallsreduksjon på byggeplassen.

Byggenæringen er i dag verdens største forbruker av naturressurser, og utgjør på verdensbasis omtrent 40 % av all energibruk og energirelaterte klimagassutslipp (GABC, 2017). Norske byggeplasser alene produserer omtrent 1,87 millioner tonn avfall årlig. Tall fra SSB viser at avfallsandelen fra nybyggprosjekter stadig øker, og fra 2015 til 2016 steg produksjonen av avfall for nybygg med 4,7 % til nesten 635 000 tonn avfall (SSB, 2019a).

Avfallshierarkiet, også kjent som avfallspyramiden, illustrerer prioriteringene i norsk avfallspolitikk (LOOP, 2018a). Hierarkiet består av fem nivåer, som illustrert i Figur 2: avfallsreduksjon, ombruk, materialgjenvinning, energiutnyttelse og deponering. Hierarkiet skal leses fra toppen og ned, og grunntanken er at avfallshåndteringen er mer bærekraftig dess høyere i hierarkiet håndteringen finner sted. Avfallspyramiden er basert på prinsippet *reduce-reuse-recycle*, og tilpasset byggebransjen (NSW EPA, 2017).

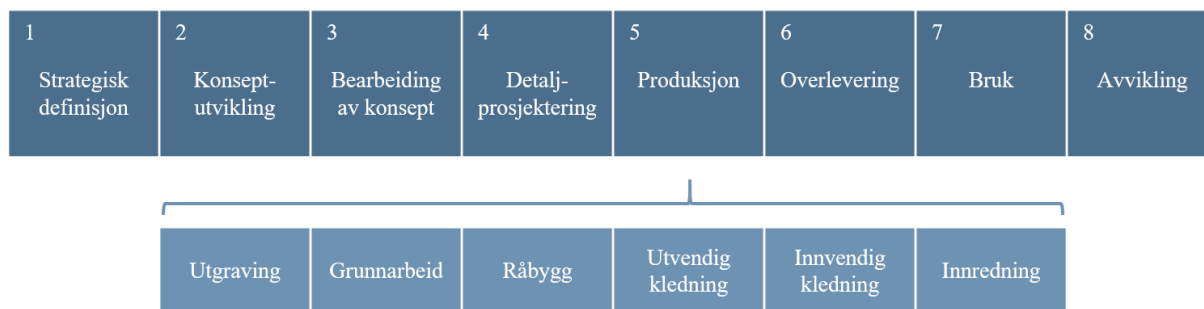


Figur 2: Avfallshierarkiet (LOOP, 2018b).

Ulike avfallsfraksjoner oppstår som følge av ulike prosesser og aktiviteter; besluttet, planlagt og gjennomført i ulike faser av prosjektet. Fasenormen «Neste Steg» (Bygg 21, 2015) definerer følgende åtte faser av byggeprosjekter: strategisk definisjon, konseptutvikling, bearbeiding av konsept, detaljprosjektering, produksjon, overlevering, bruk og avvikling.

NHP-nettverket (2016) kategoriserer videre ulike stadier av produksjonsfasen: utgraving, grunnarbeid, råbygg, utvendig kledning, innvendig kledning og innredning. Til sammen vil disse to klassifiseringene utgjøre rammen for analysen og diskusjonen av de definerte forskningsspørsmålene. Dette er oppsummert i Figur 3.

Teori



Figur 3: Faser i byggeprosjektet (Bygg21, 2015; NHP-nettverket, 2016).

Typiske fraksjoner for bransjen som helhet er store mengder papp og papir og plast, grunnet emballasje til byggematerialene. I tillegg, som illustrert i Tabell 2, er også trevirke, gips, og restavfall betydelige fraksjoner for nybygg (Kartam et al, 2004; SSB, 2019b). Dette er også fraksjoner som viser betydelig potensiale etter innledende undersøkelser. Som indikator for avfallsproduksjonen på byggeplass benyttes gjerne kg avfall per kvadratmeter (kvm) bygg.

2.1.1 Trevirke

Trevirke kan materialgjenvinnes eller energiutnyttes (Leland, 2008), og generelt sett er ombruk mulig for de fleste typer trevirke (Asplan Viak, 2018a). Nordby (2011) trekker frem trevirke blant materialene som bør prioriteres ved ombruk, basert på faktorer som materialers miljøpåvirkning i produksjon, materialkvalitet, levetid, samt komponenters omløpshastighet. Asplan Viak (2018b) presenterer i en rapport særlig aktuelle elementer for ombruk:

- Hele lengder av konstruksjonsvirke
- Søyler, bjelker og dragere av limtre
- Hele kryssfinérplater
- Trefiberplater med intakte egenskaper og form
- Utvendig og innvendig kledning

Det stilles mange krav til bærende konstruksjoner i et bygg, noe som begrenser mulighetene for ombruk. Konstruksjoner av tre kan ombrukes i nye prosjekter, forutsatt at trevirkets opprinnelige kvalitet kan dokumenteres, og at demontering er mulig (Leland, 2008). Ubehandlet trevirke hvor kvaliteten ikke kan dokumenteres kan fremdeles benyttes til ikke-bærende bygningsdeler, eksempelvis listverk, eller rammer til dører og vinduer.

Eufemias hage i Bispevika i Oslo hadde et krav om maksimalt 18 kg avfall per kvm. For å nå målet ble en rekke avtaler formulert; eksempelvis en avtale med elektroleverandør, hvor kabeltromler av tre ble sendt i retur med leverandør for ombruk (Eide, 2019).

I 2017 utgjorde fraksjonen trevirke omtrent 17 % av total vekt for generert avfall fra nybygg (SSB, 2019a). Erfaringstall for avfall fra nybygg antyder 14 kg per kvm bygg for trevirke (NHP-nettverket, 2016; Nordby og Wærner, 2017). Undersøkelser utført av NHP-nettverket (2016) tyder på at trevirke typisk oppstår på byggeplassen under grunnarbeid, råbygg, utvendig kledning og innvendig kledning. Avfallsproduksjonen er illustrert i Figur 4.

2.1.2 Gips

Gipsavfall er i all hovedsak rester av gipsplater. Innledende undersøkelser antyder at avfall i form av gips oftest oppstår i én av to sammenhenger. Enten i forbindelse med kapp, hvor metoder for tilvirkning krever tilpasning av de standardiserte gipsplatene; Eller fordi gipsplater blir ødelagt grunnet fukt eller annen eksponering ut mot omgivelsene.

Direkte ombruk av gipsplater er aktuelt dersom platene kan demonteres uten skade (Leland, 2008). Kapp og mindre biter av gips kan gjenvinnes til nye gipsplater, men dette forutsetter at fraksjonen ikke blandet med andre typer avfall (Retura, u.d.), ettersom høy kvalitet på det opprinnelige materialet kreves (Leland, 2008). Gjenvinning av gips er langt mer miljøvennlig enn å utvinne gipsstein fra gruver, og gjenvinningsgraden er høy (Retura, u.d.). Resirkulert gipspulver holder høy kvalitet (Mørch og Kase, 2018), og et eksempel fra leverandøren Norgips viser at en standard gipsplate kan bestå av 98 % gjenbrukt materiale (Norgips, u.d.).

Norsk Gjenvinning etablerte i 2018 et anlegg for gjenvinning av gips, for å imøtekomme bransjens behov for bedre løsninger for gjenvinning av byggematerialer. I Norge finnes også et mottak i Fredrikstad, drevet av Gips Recycling, som tar i mot gipskapp fra nybygg og rivning, forutsatt at gipsen er tørr (Leland, 2008). Gyproc gjenvinner deretter gipsen til nye plater, men ønsker fortrinnsvis kapp fra nybygg, da dette materialet er renere og billigere å gjenvinne. Denne løsningen er imidlertid kun aktuell for sentrale deler av Østlandet, ettersom transport av tung gips er kostbart, både økonomisk og miljømessig.

Håndtering av fraksjonen gips anses som særlig viktig for at bransjen skal møte kommende krav til materialgjenvinning (Rosenlund, 2019). Flere tiltak er allerede igangsatt for et mer bærekraftig forbruk av gips i bransjen som helhet. Eksempelvis har Norsk Gjenvinning i samarbeid med New West Gypsum Recycling etablert en gipsfabrikk i Holmestrand (Rosenlund, 2019). Fabrikken har tillatelse til å ta imot 40 000 tonn i året. Produsenten Gyproc ønsker nå også å gå i gang med gjenvinning av brukt gips.

I 2017 utgjorde fraksjonen gips omtrent 7 % av total vekt for generert avfall fra nybygg (SSB, 2019b). Erfaringstall for nybygg antyder 5 kg per kvm bygg for gips (NHP-nettverket, 2016; Nordby og Wærner, 2017). Undersøkelser tyder på at gipsavfall i hovedsak oppstår i forbindelse med utvendig og innvendig kledning (NHP-nettverket, 2016), illustrert i Figur 4.

2.1.3 Papp og papir

Furulund (2017) peker på at returpapir er en god råvare for produksjon av nytt papir, og at papirfraksjonen i utgangspunktet derfor egner seg godt til materialgjenvinning. I 2017 ble om lag 77 % av papir, papp og kartong levert til materialgjenvinning (SSB, 2019a). Papir er en problematisk fraksjon for ombruk, ettersom egenskapene fort forringes dersom materialet blir fuktig. Papp kan til dels ombrukes på byggeplass, men har begrensede bruksområder.

I en innsats for å redusere papiravfallet i prosjektet Eufemias hage ble sement til prosjektet levert i nylonsekker á 1 000 kg, heller enn de vanlige papirsekkene á 25 kg (Eide, 2019).

I 2017 utgjorde fraksjonen papp og papir omtrent 2 % av total vekt for generert avfall fra nybygg (SSB, 2019a). Ettersom papp og papir er en fraksjon med relativt lav vekt, er det nærliggende å anta at volumprosenten av total mengde ville vært noe større. Erfaringstall for nybygg antyder 2 kg per kvadratmeter bygg for fraksjonen papir (NHP-nettverket, 2016; Nordby og Wærner, 2017). Pappavfall oppstår gjerne i forbindelse med innvendig kledning og innredning (NHP-nettverket, 2016), som illustrert i Figur 4.

2.1.4 Plast

Fraksjonen plast oppstår i all hovedsak i form av brukt emballasje. Plast er velegnet som emballasjemateriale, ettersom det gir god beskyttelse, har lav egenvekt og i mange tilfeller kan gi en lavere klimapåvirkning enn alternative materialer (Emballasjeforeningen, 2019). Plastemballasje står for rundt 40 % av all plast som brukes i Norge årlig. I 2017 ble 210 000 tonn plastemballasje benyttet i Norge, og omtrent 30 % av dette ble materialgjenvunnet (Emballasjeforeningen, 2019). 9 000 tonn kom fra bygge- og anleggsvirksomhet (SSB, 2019c). Lav gjenvinningsgrad for plast skyldes blant annet at enkelte typer emballasje er teknisk vanskelig å gjenvinne, og at teknologien for å gjøre gjenvinningen økonomisk gunstig ikke eksisterer per dags dato. Dagens emballasjedesign gjør dessuten at store deler emballasje ikke kan resirkuleres, og derfor sendes direkte til energigjenvinning (Lystad, 2018).

Emballasjeforeningen (2019) peker på særlig fire utfordringer ved overgangen til sirkulære plastemballasjekjeder:

- Mangelfull innsamling, sortering og gjenvinning av plastemballasje
- Lite egnede emballaseløsninger
- Lav etterspørsel etter resirkulerte plastmaterialer
- Plast havner i naturen

Alternative materialer vil være en viktig del av en endelig reduksjon av fraksjonen, men per dags dato finnes det få reelle alternativer (Emballasjeforeningen, 2019). Ikke alle plasttyper egner seg for gjentatt bruk, og flere peker derfor på viktigheten av å se etter alternative materialer (Lystad, 2018; Emballasjeforeningen, 2019). Norsk Gjenbruk og Ramirent har sammen utviklet et dekke som kan benyttes ved transport og levering av moduler, for å redusere mengden plastemballasje på byggeplass (Byggeindustrien, 2018).

I 2017 utgjorde fraksjonen plast omtrent 0,1 % av total vekt for generert avfall fra nybygg (SSB, 2019a). Ettersom plast er en fraksjon med relativt lav vekt, er det nærliggende å anta at volumprosenten av total mengde vil være noe større. Erfaringstall for nybygg antyder 0,5 kg plastavfall per kvm bygg (NHP-nettverket, 2016; Nordby og Wærner, 2017).

Teori

Plastavfall kan oppstå i forbindelse med utvendig og innvendig kledning, samt innredning (NHP-nettverket, 2016). Avfallsproduksjonen er illustrert i Figur 4.

Stadier i produksjonsfasen					
Utgraving	Grunnarbeid	Råbygg	Utvendig kledning	Innvendig kledning	Innredning
Jord og stein					
Farlig avfall					
	Betong				
	Metall				
	EPS				
		Takbelegg			
			Gips		
			Isolasjon		
			Plast		
	Tre				
			Glass		
				EE-avfall	
				Papp	

Figur 4: Avfallsfraksjoner som oppstår gjennom produksjonsfasen (NHP-nettverket, 2016).

2.1.5 Restavfall

En undersøkelse gjennomført av Hjeltnes Consult avslørte at hele 58 % av innholdet i containere med avfall fra 29 norske byggeplasser kunne ha blitt sortert ut (Kronholm, 2016). Av prosjektene i plukkanalysen var fire nybygg. I denne spesifikke undersøkelsen utgjorde trevirke halvparten av disse 58 % - gips omtrent 10 %. Papp og papir, plastfolie og hardplast ble også trukket frem som sentrale fraksjoner. Å øke sorteringsgraden på byggeplassen vil være sentralt for å redusere fraksjonen restavfall. Restavfall er en dyr fraksjon, som er lite hensiktsmessig å benytte til materialgjenvinning (Frydenlund, 2017).

Uttalelser i forbindelse med plukkanalysen gjennomført av Hjeltnes Consult peker på viktigheten av informasjonstiltak for å redusere feilsortering (Kronholm, 2016). Frydenlund (2017) understreker viktigheten av tydelig merking på byggeplassen, gjerne på flere språk. Dette vil være et viktig grep for å sikre riktig kildesortering, og dermed unngå ekstra kostnader knyttet til feilsortering.

Teori

I 2017 utgjorde fraksjonen blandet restavfall omtrent 18 % av total vekt for generert avfall fra nybygg (SSB, 2019a). Erfaringstall for nybygg antyder 16 kg per kvm bygg for fraksjonen blandet avfall (NHP-nettverket, 2016; Nordby og Wærner, 2017).

En studie av avfallsproduksjonen i utbyggingen av utenlandsterminalen ved Kjevik, Kristiansand lufthavn, viser at restavfall kan oppstå gjennom hele produksjonsfasen; men mengdene øker gjerne mot senere stadier av produksjonen (Nordby og Wærner, 2017).

2.2 Etablerte verktøy for avfallsreduksjon

Det finnes allerede en rekke etablerte verktøy i bransjen som kan benyttes i avfallsreduksjon. Det er nærliggende å tenke at implementering av identifiserte tiltak til dels vil kunne baseres på nettopp disse verktøyene.

2.2.1 Trimmet bygging

Trimmet bygging er den norske betegnelsen på *Lean Construction*. *Lean* som begrep ble først definert av Womack *et al* (1991), og er en metodikk som fokuserer på å eliminere sløsing og maksimere verdi for kunden, basert på *Toyota Production System*. I dag benyttes begrepet både om den overordnede teorien for organisering av aktiviteter og arbeidsoppgaver, og om en rekke verktøy basert på filosofien. Den opprinnelige filosofien ble utformet for industriell produksjon, og hadde som formål å maksimere kundens verdi ved å redusere - og ideelt sett, eliminere - all *sløsing* (Womack *et al*, 1991). Gjennom *Toyota Production System* er syv kategorier av sløsing identifisert:

- Sløsing som følge av overproduksjon
- Sløsing som følge av venting
- Sløsing som følge av transport av materialer og andre ressurser
- Sløsing som følge av overprosessering
- Sløsing som følge av inventar
- Sløsing som følge av bevegelse
- Sløsing som følge av defekter

Salem *et al* (2006) klassifiserer tre forhold som skiller produksjonen i byggebransjen fra industrien: produksjonen som foregår på byggeplass, samt unikheten og kompleksiteten i hvert enkelt byggeprosjekt. På grunn av disse ulikhetene kan ikke teorien oversettes direkte fra industriell masseproduksjon til byggebransjen (Koskela *et al*, 2002), men visse prinsipper kan likevel overføres. Lean construction handler også om å minimere sløsing av materialer, tid og arbeid, for å kunne skape mest mulig verdi for kunden (Koskela *et al*, 2002).

Teori

Josephson og Björkman (2011) estimerer at kostnader knyttet til synlige og usynlige feil, inspeksjoner, forsikringer, tyveri og vandalisme utgjør omtrent 10 % av prosjektets totale kostnader. Videre anslås ineffektivitet, venting, inaktivt maskineri og bortkastede materialer også å tilsvare omtrent 10 %. Også kostnader knyttet til arbeidsulykker og arbeidsfravær, eksempelvis i forbindelse med rehabilitering av enkeltindivider etter skade, eller tidlig pensjon, vil tilsvare omtrent 10 % av prosjektets kostnader. Med andre ord kan ulike former for sløsing tilsvare så mye som 30 % av prosjektets totale kostnader.

Ansah *et al* (2016) presenterer en rekke anbefalte verktøy innen trimmet bygging. Av totalt 40 identifiserte verktøy og aktiviteter vurderes 21 av disse egnet som en del av et rammeverk for avfallshåndtering; disse er oppsummert i Tabell 4.

Tabell 4: Anbefalte verktøy for avfallshåndtering, fra trimmet bygging (Ansah *et al*, 2016).

<i>Waste Detection</i>	<i>Waste Processing</i>	<i>Waste Response</i>
<ul style="list-style-type: none">• <i>Value Stream Mapping</i>• <i>Construction Process Analysis</i>• <i>Muda Walk</i>• <i>Spaghetti Diagram</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>5 Whys</i>• <i>Pareto Analysis</i>• <i>Fishbone Diagram</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>Defect Concentration Diagram</i>• <i>5S</i>• <i>Work Standardisation</i>• <i>Just-In-Time</i>• <i>A3 Problem Solving Report</i>• <i>Last Planner System</i>• <i>Visual Management</i>• <i>Huddle Meetings</i>• <i>First Run Studies</i>• <i>Preventive Maintenance</i>• <i>Fail Safe for Quality</i>• <i>Material Kanban Cards</i>• <i>Work Structuring</i>• <i>Concurrent Engineering</i>

2.2.2 Bærekraftige designvalg

Tidlige faser av et prosjekt er sentrale i livsløpsplanleggingen av bygget (Byggemiljø, 2016). Flere studier peker på at endring i en bygnings bruk og karakteristikker vil være uunngåelig (Greden, 2005; Safadi, Zain og Jamil, 2015), og flere antyder nå et stort potensial i design for endringsdyktige bygg og løsninger i prosjekter (Langdon, 2013; Boyle, 2005; Bjørberg, 2019). Langdon (2013) identifiserer fem konkrete prinsipper for å *designe vekk avfallet*:

- Design for ombruk
- Design for produksjon utenfor byggeplassen
- Design for optimalisering av materialer
- Design for effektiv avfallshåndtering
- Design for dekonstruksjon og fleksibilitet

Design for ombruk innebærer at avfall på den aktuelle byggeplassen kan utnyttes. Dette kan være avfall fra foregående rivning, eller avfall som oppstår i løpet av det aktuelle prosjektet (Langdon, 2013). *Design for produksjon utenfor byggeplassen* handler om å legge til rette for industrialisert og modularisert produksjon av bygningselementer. *Design for optimalisering av materialer* kan gjøres ved å tilpasse og forenkle visse arkitektoniske valg, designe i henhold til standard materialdimensjoner eller designe for repetitivt design. *Design for effektiv avfallshåndtering* kan innebære å kartlegge på forhånd hvor avfall kan oppstå i prosjektet, eller å ta kontakt med aktører med kompetanse innen avfallshåndtering for å få konkrete råd og veiledning. *Design for dekonstruksjon og fleksibilitet* handler om å bygge tilpasningsdyktige bygg, med gode muligheter for demontering og ombruk av elementer. US EPA (2018) anbefaler bruk av holdbare materialer, standard størrelser, enkle systemer og mekaniske fester ved design for tilpasningsdyktighet, demontering og ombruk.

Om lag 70-80 % av dagens eksisterende bygningsmasse skal brukes i 80 til 100 år fremover, gjerne lenger. Bjørberg (2019) påpeker derfor viktigheten av design og utforming med tanke på tilpasningsdyktighet, slik at bygningene kan møte ombyggingsbehov som oppstår over tid.

Tilpasningsdyktigheter en funksjon av bygningens generalitet, fleksibilitet og elastisitet. *Generalitet* er bygningens evne til å møte vekslende krav uten å forandre egenskaper (Arge og

Landstad, 2002). *Fleksibilitet* er bygningens evne til å møte vekslende krav gjennom å forandre egenskaper. *Elastisitet* er bygningens evne til å utvide eller redusere arealer innenfor en gitt geometri. Hatling og Samset (2018) tilegner designvalg for generalitet til tidlig fase av prosjektet, designvalg for fleksibilitet til produksjonsfasen, og valg for elastisitet til bruksfasen. Litteraturen inneholder flere eksempler på tilpasningsdyktige løsninger:

- Universell utforming av rom
- Modulære design
- Diskrete byggesystemer
- Utforming for enkel ominnredning og inndeling i soner
- Legge til rette for bruk av ulike aktører
- Funksjonell organisering av arealer

2.2.3 Samspill

Entreprenørforeningen (2013) beskriver samspillsentreprisen som en samarbeidsform kjennetegnet ved en rekke *samspillselementer*, eksempelvis tidlig involvering av partene, dialog, tillit og åpenhet. Utgangspunktet er at prosjektet skal gjennomføres i henhold til felles målsettinger. Samspillsentreprisen har ikke én fast form, men kjennetegnes av bruken av ulike samspillselementer. Stene, Lædre og Andersen (2015) identifiserer til sammen 30 samspillselementer, blant annet følgende:

- Inkludering av underentreprenører i samspillsgruppen
- Inkludering av rådgivere i samspillsgruppen
- Inkludering av arkitekt i samspillsgruppen
- Oppstartsseminar
- Kontinuerlig workshops
- Avsluttende workshops
- Målinger underveis
- Samarbeidsavtale
- Samlokalisering av samspillsgruppen
- Målpris med deling av bonus-malus
- Inkludering av underentreprenører i kontrakten

Teori

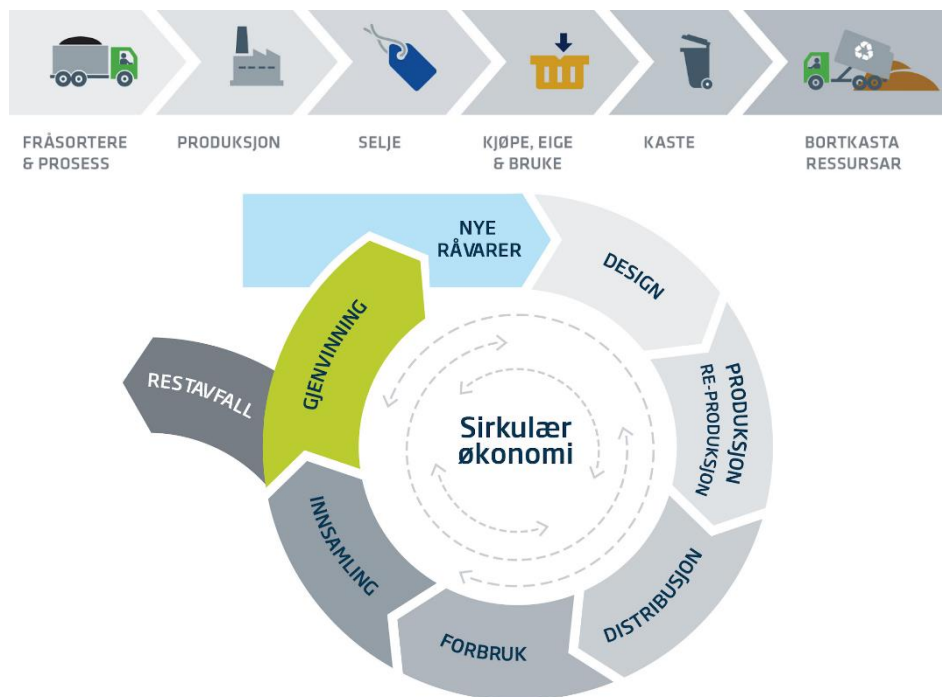
- Inkludering av rådgivere i kontrakten
- Inkludering av arkitekt i kontrakten

Elementene skal bidra til involvering av alle aktører, gjerne med påfølgende økt kvalitet i både prosess og produkt. Entreprenørforeningen (2013) trekker frem effektiv bruk av kompetanse og ressurser, effektive byggeplasser, samt høyere kvalitet og fokus på miljø som identifiserte fordeler ved bruk av samspillsentreprisen. Andre fordeler kan være et tidlig fokus på løsning og praktisk utførelse (Difi, 2013). En studie gjennomført av Haaskjold, Andersen og Langlo (2020) viste at prosjekter med god samarbeidskvalitet opplevde økt prosjektytelse; prosjektene opplevde færre feil og avvik, og leverte i større grad i henhold til spesifikasjoner og kundeforventninger sammenlignet med prosjekter med lavere samarbeidskvalitet. Stene, Lædre og Andersen (2016) trekker frem ytterligere fordeler:

- Bedre produktivitet
- Forbedret samarbeid og arbeidsmiljø
- Redusert konfliktnivå
- Introduksjon av innovasjoner i prosjektene

2.2.4 Sirkulærøkonomi

En viktig del av arbeidet mot avfallsfrie byggeplasser vil være overgangen fra en tradisjonell, lineær tankegang, til en sirkulær økonomi, illustrert i Figur 5 (Årim, 2015). I en sirkulær økonomi er målet å utnytte alle ressurser optimalt, slik at de forblir i kretsløpet så lenge som mulig (Avfall Norge, 2016). Avfall blir dermed først og fremst råstoff for ny produksjon. For byggebransjen er en slik tankegang forventet å innebære mer effektiv utnyttelse av ressurser; reduksjon i forbruk av råvarer, avfall, utslipp og energi (Rodahl, 2019). Sørnes *et al* (2014) peker på klare miljøgevinster ved en mer sirkulær tilnærming i bransjen.



Figur 5: Lineær og sirkulær økonomi (Årim, 2015).

Begrepet gjenbruk benyttes ofte om både gjenvinning og ombruk. Ombruk innebærer å benytte bygningselementer på nytt direkte, eller med mindre modifiseringer. Ombruk kan deles i to kategorier (Sørnes *et al*, 2014): lokal ombruk og ombruk annensteds. Lokal ombruk innebærer ombruk av materialer eller elementer på samme byggeplass, mens ombruk annensteds innebærer bruk av materialer eller elementer fra - en eller flere - andre byggeplasser. Flere sentrale aktører peker på at dagens regelverk ikke er designet for ombruk, noe som vil stille større krav til egeninnsats fra den enkelte aktør (Marton, 2019).

2.2.5 Industrialisering og modularisering

Tradisjonelt foregår produksjonen i et byggeprosjekt på byggeplassen, men interessen for bruk av prekutting (pre-kutt), prefabrikkering (pre-fab) og moduler øker stadig. Ved å flytte produksjonen fra byggeplassen og til et fabrikklokale muliggjøres en mer industriell tilnærming til produksjonen (Rodahl, 2019). I slike omgivelser kan automatiserte løsninger enklere benyttes (Moum *et al*, 2017). Dette kan gi økt fleksibilitet, tillate en mer presis tilvirkning av enkeltelementer, og øke produksjonskapasiteten (Rodahl, 2018). Moum *et al* (2017) peker på en rekke potensielle fordeler ved økt bruk av industrialiserte byggeprosesser:

Teori

- Kortere byggetid
- Mer effektive og smidige prosesser
- Reduserte kostnader
- Økt konkurransekraft
- Bedre kontroll
- Færre arbeidsulykker
- Renere bygg
- Bedre kvalitet og færre byggskader
- Økt levetid
- Økt forutsigbarhet
- Økt mulighet for kvalitetssikring og kontroll

Industrialisering kan dessuten bidra til å lukke materialkretsløpet, ettersom produksjon og tilvirkning vil kunne foregå i mer kontrollerte omgivelser; dette vil kunne være en viktig bidragsyter i arbeidet mot en mer sirkulær økonomi (Moum *et al*, 2017).

Tam *et al* (2005) og Moen (2017) peker på et stort potensial for avfallsreduksjon ved bruk av pre-fab. Tam og Hao (2014) understreker at bruk av pre-fab ikke bare reduserer avfall ved tilvirkning, men impliserer også en avfallsreduksjon gjennom redusert skadeomfang på materiale under transport og under tilvirkning på byggeplass. Ved tidligere designvalg grunnet ønske om bruk av pre-fab antas også redusert sannsynlighet for sene designendringer, som ofte medfører avfall på byggeplassen (Tam *et al*, 2005). For trevirke anslås opptil 85 % avfallsreduksjon ved bruk av pre-fab (Tam og Hao, 2014).

Likevel er ikke overgangen fra tradisjonelle metoder for tilvirkning til pre-fab løsninger problemfri. Både manglende erfaring, tidsbruk i innledende designfaser, lagringsplass på byggeplass, samt lengre leveringstid for pre-fab elementer sammenlignet med standardiserte komponenter kan vise seg å bli utfordringer (Tam og Hao, 2014). Moum *et al* (2017) peker på digitalisering av data som kan tolkes av produksjonsmaskineri som en viktig forutsetning for fullskala automatisering i et industrielt miljø.

2.2.6 Digitalisering

Per dags dato er byggenæringen blant de næringene som har lavest innovasjonsgrad (Tunmo, 2015). Byggebransjen scorer lavest av alle bransjer i Norge på digitalisering og effektivitet (Engeseth, 2018), samtidig som forskning peker på at digitalisering gir økt lønnsomhet. Digitalisering av bransjen er identifisert som et avgjørende tiltak for å oppnå klimamålene som er definert nasjonalt (Klima- og miljødepartementet, 2016). Det er generelt lav bevissthet omkring digitalisering i bransjen, og den digitale kompetansen er lav (Sjøgren *et al*, 2017). En tendens er at morgendagens problemer forsøkes løst med gårsdagens verktøy.

Rammeverket *Virtual Design and Construction* (VDC) er en samling kjente og effektive teknikker satt i system (Linge, 2016). *Building information modeling* (BIM), etterhvert et etablert verktøy i bransjen, er et sentralt element i VDC. Utgangspunktet for VDC er trimmet bygging, og målsetningen er, som for trimmet bygging, å øke produktivitet og verdiskapning i alle faser. VDC tar sikte på å gjøre dette gjennom tidlig involvering av alle aktører på prosjektet, måle ytelsen av prosjektets prosesser, og herfra arbeide for å kontinuerlig forbedre egen praksis. Erfaring tilsier at systemet gir redusert tidsbruk og ventetid på byggeplass, og bidrar til å forhindre at misforståelser oppstår (Linge, 2016). Digitalisering er et viktig verktøy for eksakt prosjektering, med - potensielt - redusert materialforbruk, avfall og timeforbruk (Moen, 2017).

Utover den tredimensjonale modellen av bygningen inneholder BIM også mer informasjon. Undersøkelser viser at det ser ut til å være felles enighet om også de øvrige dimensjonene: 4D representerer tid og fremdriftsplanlegging, 5D representerer kostnadsestimering; 6D representerer bærekraft, 7D representerer facility management (Charef, Alaka og Emmitt, 2018). Figur 6 illustrerer de syv dimensjonene i BIM. Sjøgren *et al* (2017) trekker frem digitale byggeplasser med virtuell bygging og digitale tvillinger, eksempelvis i form av BIM, som særlig sentrale produkter i arbeidet mot en heldigital bransje.



Figur 6: Dimensjoner i BIM (ACCA Software, 2018).

Sjøgren *et al* (2017) definerer tre innovasjonsnivåer ved digitalisering:

1. Automatisering og effektivisering
2. Gjøre eksisterende prosesser på en ny måte
3. Gjøre nye ting på en ny måte

Første nivå innebærer at arbeidet gjøres på tradisjonelt vis, men med hjelp fra digitale verktøy (Sjøgren *et al*, 2017). De samme aktørene vil gjennomføre de samme oppgavene som før, men mer effektivt. Andre nivå innebærer mer innovasjon. Tradisjonelle aktiviteter og prosesser gjennomføres, men på nytt vis - i en ny rekkefølge, eller av nye aktører. Tredje nivå innebærer at gjennomføringen snus på hodet. Gjennomføringsmodeller, kontraktsformer og forretningsmodeller må revideres og revurderes.

I forbindelse med en undersøkelse om digitalisering i bransjen fant Følgesvold (2016) at graden av digitalisering av bransjen er moderat, og at både entreprenører, investorer og byggeiere har et betydelig uutnyttet potensial. Om material- og varekjøp vises følgende:

Teori

- Bygg benytter i stor grad tekst-beskrivelse ved identifisering av produkter
- Global Trade Item Number (GTIN) benyttes foreløpig i liten grad i alle prosjekter.
- Leveringsadresse angis nesten utelukkende som tekst.
- Global Location Number (GLN) benyttes av kun 5 % av respondentene
- Kontroll ved varemottak skjer oftest manuelt
 - Omtrent en tredjedel benytter strekkoder
 - Omtrent en tredjedel gjennomfører ingen kontroll
- Fysiske produkter kobles i de fleste tilfeller med tilhørende dokumentasjon gjennom artikkelnummer
 - Ofte leverandørens artikkelnummer
 - Omtrent 20 % benytter NOBB-nummer

Digitalisering åpner for økt bruk av ny datateknologi. Verktøy som virtuell virkelighet, *virtual reality* (VR) og utvidet virkelighet, *augmented reality* (AR) ansees særlig aktuelle for bransjen som helhet (Rodahl, 2018). VR gjør det mulig for brukeren å interagere med en konstruert virkelighet, vanligvis ved bruk av VR-briller eller tilsvarende (Bakkeli, 2017). VR-opplevelsen er som regel knyttet til syn og lyd. I Skanska utnyttes denne teknologien sammen med BIM, ved å eksempelvis la brukeren besøke et ubygget bygg. AR kombinerer VR og virkelighet, ved å gi den fysiske verden et ekstra lag informasjon (Bakkeli, 2017).

2.3 Kunstig intelligens

Europakommisjonen (2019) definerer kunstig intelligens som følger:

Kunstig intelligente systemer utfører handlinger, fysisk eller digitalt, basert på tolkning og behandling av strukturerte eller ustrukturerte data, i den hensikt å oppnå et gitt mål. Enkelte KI-systemer kan også tilpasse seg gjennom å analysere og ta hensyn til hvordan tidligere handlinger har påvirket omgivelsene.

Det finnes imidlertid ingen entydig, allment akseptert definisjon av kunstig intelligens per dags dato (Reaktor, 2020). En manglende, felles definisjon beskrives som en av de viktigste årsakene til at bransjen mangler en forståelse av kunstig intelligens. En annen årsak er populærkulturens fremstilling av kunstig intelligens. Reaktor (2020) fremhever også viktigheten av at det som virker lett kan være vanskelig, og at det som virker vanskelig kan være lett. For denne oppgaven vil Europakommisjonens definisjon benyttes som referanse.

Kunstig intelligens er et svært tverrfaglig felt, og består av elementer fra datateknikk, logikk, matematikk, psykologi og nevrovitenskap (Tidemann, 2020). I dag tar stadig flere bransjer og fagfelt som i bruk teknologi som kan klassifiseres som kunstig intelligent.

Regjeringens strategi for kunstig intelligens (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2020) understreker viktigheten av datasikkerhet og etisk bruk av kunstig intelligens, både ved utviklingsarbeid og i fullskala implementering. Strategien fremhever fem grunnleggende punkter som særlig viktige for implementering av kunstig intelligens:

- Tilstrekkelig størrelse og kvalitet av datasett;
- Regelverk som kan tilpasses og modifiseres der det eventuelt er til hinder for hensiktsmessig og ønsket bruk av kunstig intelligens;
- Samlede og tilgjengelige språkressurser for bruk av språkteknologi;
- Tilstrekkelig kommunikasjonsinfrastruktur, eksempelvis 5G-nett;
- Tilstrekkelig regnekraft

Forenklet sett kan kunstig intelligente systemer deles inn i to hovedområder: maskinlæring, maskinresonnering (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2020; HLEGAI, 2020). Akinade (2017) anbefaler imidlertid en firedelt kategorisering for byggebransjen:

- *Maskinlæring*
- *Kunnskapsbaserte systemer*
- *Evolusjonære algoritmer*
- *Hybridsystemer*

Robotikk er et femte, nærliggende område innen faget (Reaktor, 2020).

2.3.1 Maskinlæring

Maskinlæring er et begrep som brukes om et utvalg av ulike teknikker, som utleder regler fra datasettene systemet trenes på. Ved maskinlæring bygges matematiske beslutningsmodeller på eksempeldata eller treningsdata (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2020). Teknikkene baseres på statistiske metoder, og målet er å finne mønstre i store datamengder, slik at maskinen kan *lære* (Tidemann, 2019). Dataene maskinen får tilgang til klassifiseres gjerne som enten treningssett, valideringssett eller testsett. Treningssettene benyttes i opplæring av modellen, valideringssett for evaluering av modellen under læring, og testsett for evaluering av modellen etter endt læring. Maskinlæring kan deles inn i tre underkategorier: overvåket læring; uovervåket læring; og forsterket læring (Reaktor, 2020). I praksis er det ikke nødvendigvis så enkelt å skille mellom disse (Russell og Norvig, 2010).

Overvåket læring er den mest brukte formen for maskinlæring (Tidemann, 2020). Ved overvåket læring blir maskinen presentert med utvalgte par av inngangsverdier og utgangsverdier, og et menneske, en lærer, interagerer med maskinen (Russell og Norvig, 2010). *Klassifisering* og *regresjon* er former for overvåket læring (Tidemann, 2019).

Uovervåket læring krever at maskinen selv finner mønstre i inngangsverdiene uten å kjenne utgangsverdiene (Russell og Norvig, 2010). Dette kan eksempelvis gjøres ved gruppering av inngangsverdiene i klynger som maskinen selv definerer (Tidemann, 2019). Datavisualisering er et annet eksempel på uovervåket læring (Reaktor, 2020).

Forsterket læring handler om at maskinen skal lære gjennom å motta belønning eller straff; det er opp til maskinen selv å vurdere hvilke valg som førte til forsterkningen (Russell og Norvig, 2010). En styrke ved forsterket læring er at ønsket fremgangsmåte ikke spesifiseres for problemløsningen (Tidemann, 2019). Tilnærmingen kan eksempelvis brukes i spill der resultatet ikke er endelig gitt før ved spillets slutt (Reaktor, 2020).

Datasyn er et eksempel på en teknologi som benytter mønstergjenkjenning, drevet av maskinlæring. I naturlig språkbehandling kan maskinlæring benyttes for utvidelse av regelbaserte modeller.

Kunstige nevrale nettverk (Artificial Neural Network, ANN), fuzzy logikk (FL), støttevektormaskiner (Support Vector Machines, SVM), regelbasert maskinlæring (Rule Based Learning, RBL) og assosiasjonslæring (Association Rule Learning, ARL) er blant de mest brukte teknikkene innen ML (Akinade, 2017). Innen byggebransjen er ANN, SVM og FL de mest brukte teknikkene (Irani og Kamal, 2014).

2.3.2 Kunnskapsbaserte systemer

Kunnskapsbaserte systemer etterligner menneskelig ekspertise i problemløsning, for å finne løsninger på komplekse problemer (Sowa, 2000). Systemene kan gjøre dette ved å enten erstatte den menneskelige problemløseren, eller fungere som beslutningsstøtte. Sammenlignet med maskinlæring, som gjerne beskrives som en *black box*, innehar kunnskapsbaserte systemer langt sterkere forklaringssevner (Akinade, 2017). På en annen side har kunnskapsbaserte systemer svakere evner til læring og oppdagelse av ny kunnskap.

Teknikker innen kunnskapsbaserte systemer inkluderer ekspertsystemer (ES), regelbaserte systemer (RBS), case-basert resonnering (CBR), semantiske nettverk (SN) og ontologi.

2.3.3 Evolusjonære algoritmer

Evolusjonære algoritmer er basert på biologisk evolusjon (Russell og Norvig, 2010). Teknikken kombinerer et sett mulige løsninger for å finne den beste løsningen ved optimalisering

(Dasgupta og Michalewicz, 2013). Sammenlignet med andre teknikker krever evolusjonære algoritmer lite domenespesifikk informasjon, og er enkle å implementere.

Teknikker kategorisert som evolusjonære algoritmer er genetiske algoritmer (GA), Ant Colony Optimisation (ACO), Artificial Bee Colony (ABC), Particle Swarm Optimisation (PSO), Differential Evolution (DE) og Evolutionary Programming (EP).

2.3.4 Hybridsystemer

Hybridsystemer kombinerer flere ulike teknikker for å utnytte styrkene - og overkomme svakhetene - i de valgte teknikkene for å løse et spesifikt problem (Russell og Norvig, 2010). Å kombinere ulike teknikker kan være nødvendig for å løse mer komplekse problemer.

Hybridsystemer kan klassifiseres etter arkitekturen i systemet som *enkeltstående*, *transformativ*, *hierarkisk* eller *integrert* (Akinade, 2017).

Neuro-fuzzy systemer kombinerer nevrale nettverk (NN) og fuzzy interferenssystemer (FIS); genetisk fuzzy systemer kombinerer EC og fuzzy systemer (FS); fuzzy ekspertsystemer kombinerer FIS og ES; evolusjonære nevrale nettverk kombinerer EC og nevrale nettverk.

2.3.5 Robotikk

Robotikk er et femte, nærliggende område innen fagfeltet. Robotikk omhandler konstruksjon og programmering av roboter (Reaktor, 2020). En robot er en maskin med sensorer som henter informasjon fra sine omgivelser, og aktuatorer som utfører en mekanisk bevegelse i disse omgivelsene med utgangspunkt i den innsamlede informasjonen (Liseter, 2018).

Robotikk krever en kombinasjon av nesten alle områder klassifisert som kunstig intelligens, men maskinlæring er særlig mye brukt i robot-relaterte problemstillinger (Reaktor, 2020). Programvarebaserte løsninger, eksempelvis roboter som benyttes til kundeservice og lignende, regnes i utgangspunktet ikke som kunstig intelligens.

2.4 Kunstig intelligens i byggeprosjekter

Kunstig intelligens er allerede forsøkt utnyttet i flere deler av byggebransjen: ved kalkulering av prosjektsuksess og identifisering av kritiske suksessfaktorer (Ko og Cheng, 2007; Martinez og Fernández-Rodríguez, 2015); kontantstrømanalyse og kostnadsestimering i anbud og gjennomføring (Cheng, Tsai og Liu, 2009; Chou, Lin, Pham og Shao, 2015; Juszczuk, 2017); risikoanalyse (Basaif og Alashwal, 2018); fremdriftsplanlegging og oppfølging (Rybina og Blokhin, 2016; Liu, Kang og Zheng, 2018); erfaringsoverføring og organisasjonslæring (Kanapeckiene *et al*, 2010); samt håndtering og minimering av avfall (Cheng, Chan og Huang, 2003; Abbasi og Hanandeh, 2016; Akinade, 2017; Ali *et al*, 2019).

Akinade (2017) oppsummerer teknikker benyttet i studier i bransjen, gjengitt i Tabell 5.

Tabell 5: Teknikker benyttet i bransjerelevante studier (Akinade, 2017).

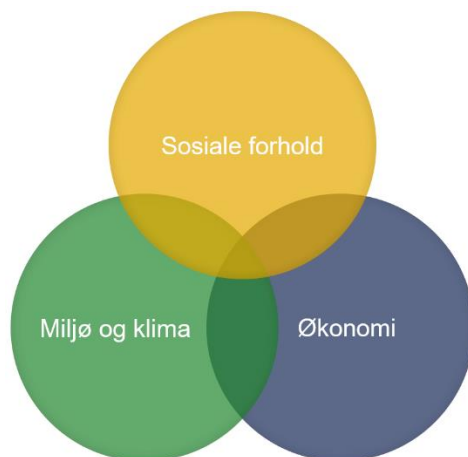
Kategori	Fagområde og kilde	Teknikk
Maskinlæring	Kostnadsestimering (Wilmot og Mei, 2005)	ANN
	Kostnadsestimering (An et al, 2007)	SVM
	Kostnadsestimering (Petroutsatou et al, 2011)	ANN
	Kostnadsestimering (Jafarzadeh, Ingham og Wilkinson, 2014)	ANN
	Tid-kostnadsestimering (Hola og Schabowicz, 2010)	ANN
	Produktivitetsindeks-analyse (Son, Kim og Kim, 2012)	SVM
	Kostnadsestimering (Cheng og Hoang, 2014)	SVM
	Evaluering av energiprestasjon i bygg (Kabak et al, 2014)	FS
Kunnskapsbaserte systemer	Estimering av byggekostnader (Ji, Park og Lee, 2011)	CBR
	Kostnadsestimering for offentlig veiplanlegging (Choi et al, 2013)	CBR
	Beslutningsstøtte ved anbud (Chua, Li og Chan, 2001)	CBR
	Beslutningsstøtte ved utforming av fortau (Mosa et al, 2013)	ES
	Kontroll av modeller og fremdriftsplaner (Zhang et al, 2013)	DSS
	Kostnadsestimering (Kim og Kim, 2010)	CBR
	Kostnadsestimering (Lee, Kim og Yu, 2014)	Ontologi
Evolusjonære algoritmer	Kostnadsestimering (Kim et al, 2013)	CBR
	Kostnadsoptimalisering (Augusto, Mounir og Melo, 2012)	GA
	Tid-kostnadsoptimalisering (Li og Wang, 2009)	ACO
	Optimalisering av komposittstrukturer (Omkar et al, 2011)	ABC
	Optimalisering av termisk bygningsdesign (Wright, Loosemore og Farmani, 2002)	GA
	Optimalisering av leveringssted (Tam, Tong og Chan, 2011)	GA
	Tid-kostnad-ressursoptimalisering (Ghoddousi et al, 2013)	GA
	Vannressursstyring (Afshar et al, 2015)	ACO
	Tid-kostnadsoptimalisering (Zhang og Ng, 2012)	ACO

Teori

Hybridsystemer	Estimering av byggavfall (Lee, Kim og Kim, 2016)	ANN+ACO
	Optimalisering for ettermontering av bygg (Asadi et al, 2014)	GA+ANN
	Prediksjon av kostnadsestimater (Kim, Seo og Kang, 2005)	ANN+GA
	Kostnadsestimering (Yu og Skibniewski, 2009)	ANN+FS
	Kostnadsestimering (Cheng, Tsai og Hsieh, 2009)	ANN+GA+FS
	Prediksjon av kostnad og tidsbruk (Zhang og Xing, 2010)	ANN+SVM
	Kostnadsestimering (Cheng og Hoang, 2014)	LS+SVM

2.5 Bærekraft

Bærekraftig utvikling kan defineres som *en utvikling som tilfredsstillter dagens behov uten å ødelegge fremtidige generasjoners muligheter til å tilfredsstillte sine behov* (Tjernshaugen og Olerud, 2018). For at en utvikling skal være bærekraftig må den forankres i tre dimensjoner: økonomi, miljø og klima, og sosiale forhold (FN-sambandet, 2019a), illustrert i Figur 7.



Figur 7: Tre dimensjoner av bærekraftig utvikling (FN-sambandet, 2019a).

Pilaren som omhandler økonomi handler i korte trekk om at en bedrift må være lønnsom for å være bærekraftig. Lønnsomhet vil imidlertid ikke være nok dersom de to øvrige pilarene ikke ivaretas. Pilaren handler ikke om lønnsomhet til enhver pris, men fungerer som en motvekt, en praktisk tilnærming, til potensielle ekstreme tiltak representert ved øvrige pilarer.

Pilaren som omhandler miljø og klima får ofte mest oppmerksomhet, og stadig flere bedrifter fokuserer på å holde en grønn profil, og arbeider for å redusere sitt karbonavtrykk.

FN-sambandet (2019b) har definert 17 bærekraftsmål som skal bidra til å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringene innen 2030. Blant disse trekker World Green Building Council (2019a) frem ni mål som grønne bygg kan bidra til, illustrert i Figur 8. Grønne bygg er bygninger som i prosjektering, produksjon eller drift reduserer negative påvirkninger, og legger til rette for positive påvirkninger på klima og miljø (Green Building Council, 2019b). Herunder kommer tiltak for minimering av avfall på byggeplass.



Figur 8: Hvordan grønne bygg bidrar til bærekraft (Green Building Council, 2019b).

Som en del av arbeidet mot bærekraftsmålene er en rekke konkrete avtaler formulert (FN-sambandet, 2019c). Blant disse er Parisavtalen, som skal bidra til å begrense klimaendringene verden nå står overfor (FN-sambandet, 2019d). Nasjonalt har Klima- og miljødepartementet definert 23 mål for miljøet, hvorav seks av disse handler om reduksjon av utslipp og klimanøytralitet (Miljødirektoratet, 2019). Til tross for at den grønne omstillingen allerede er i gang, viser rapporter at omstillingen må skje raskere dersom Norge skal lykkes med å nå klimamålene vi har satt (Hovland, 2019).

I 2018 ble 52 millioner tonn CO₂-ekvivalenter sluppet ut fra norsk territorium (SSB, 2019b), og byggesektoren er en sentral bidragsyter til både indirekte og direkte utslipp. Bramselv (2018) trekker særlig frem de indirekte utslippene, ettersom sektoren med sin kjøpekraft har stor innvirkning på utslipp fra industri, transport, energiproduksjon og avfall. En rapport fra Energi Norge, Norsk Fjernvarme, Bellona og Enova (2017) peker på transport til og fra byggeplassen som en av de sentrale kildene til direkte utslipp i sektoren, og anslår at klimagassutslippene fra byggeplass kan reduseres med tilnærmet 99 %.

Pilaren som omhandler sosiale forhold kan referere til mennesker både internt og eksternt organisasjonen. Internt kan dette for prosjektorganisasjonen handle om arbeidere på byggeplassen. For arbeiderne kan bærekraft være en trygg arbeidsplass med godt arbeidsmiljø,

Teori

som systematisk arbeider for å forhindre og forebygge helseskade blant de ansatte. Godt miljø på byggeplassen kan bidra til å sikre helse og fremme livskvalitet for de ansatte. Eksternt kan sosial bærekraft handle om å opprettholde støtten fra interessenter utenfor organisasjonen; byggherrer, andre samarbeidspartnere eller samfunnet som helhet.

FNs bærekraftsmål settes på agendaen hos stadig flere virksomheter (Grønn Byggallianse og Høgskolen i Østfold, 2019). Dette antyder at en satsing på bærekraft også kan innebære fordeler i form av økt konkurransekraft. En undersøkelse utført av Grønn Byggallianse og Høgskolen i Østfold (2019) omhandler opplevd merverdi av grønne bygg blant eiere, leietakere og investorer i byggeprosjekter. I undersøkelsen oppga over 80 % av respondentene at de anså et økt fokus på avfall som verdiskapende i et prosjekt. Følgende indikatorer for vurdert verdi ble lagt til grunn i undersøkelsen:

- Økt omsetningsverdi
- Økte leieinntekter
- Lettere å få leietakere
- Reduserte driftskostnader
- Redusert risiko - tåler strengere fremtidige myndighetskrav og brukerkrav
- Redusert risiko - høy teknisk kvalitet
- Bedret omdømme

Aktørene som best tilpasser seg klimautfordringen antas å klare seg best i konkurransen i de kommende tiår (Regjeringen, 2016). Dette skyldes både en offentlig offensiv strategi for grønn konkurransekraft, og en økt interesse fra markedet for øvrig. Ved å delta i omstillingen til lavutslippssamfunnet kan bedriften skape et *konkurransefortrinn*.

Gjennom Eiendomssektorens veikart mot 2050 argumenterer Grønn Byggallianse og Norsk Eiendom (2016) for at strategi for miljø og bærekraft ikke kan være en *add-on*, en utvidelsespakke til øvrig drift; bedriftens bærekraftstrategi vil måtte sammenfalle med fremtidig forretningsstrategi dersom bedriften skal overleve.

Nurul og Zainul (2013) påpeker at fremtidig etterspørsel og fremtidige krav fra myndighetene kan bli blant de mest effektive motivasjonsfaktorene for å bygge miljøvennlig. Stadig flere aktører velger å stille miljøkrav i anbudskonkurranser. Dette vil naturligvis medføre at

Teori

entreprenøren må innrette seg etter disse kravene for å sikre sin posisjon i et marked i utvikling, og på denne måten *møte fremtidige krav og etterspørsel*.

Studier knyttet til avfallsreduksjon på byggeplass viser til klare økonomiske gevinster i form av betydelig *reduerte kostnader* (Nordby og Wærner, 2017). Besparelser kan relateres til et lavere forbruk av materialer, samt tid spart gjennom reduksjon av sløsing i form av unødvendig transport, unødvendig tilvirkning eller unødvendig inventar.

En rekke studier peker på potensielle gevinster for *omdømmet*, ved at organisasjonen fører en klart definert miljøvennlig profil (Nurul og Zainul, 2013; Leikvam og Olsson, 2014).

2.6 Oppsummering av teoretisk rammeverk

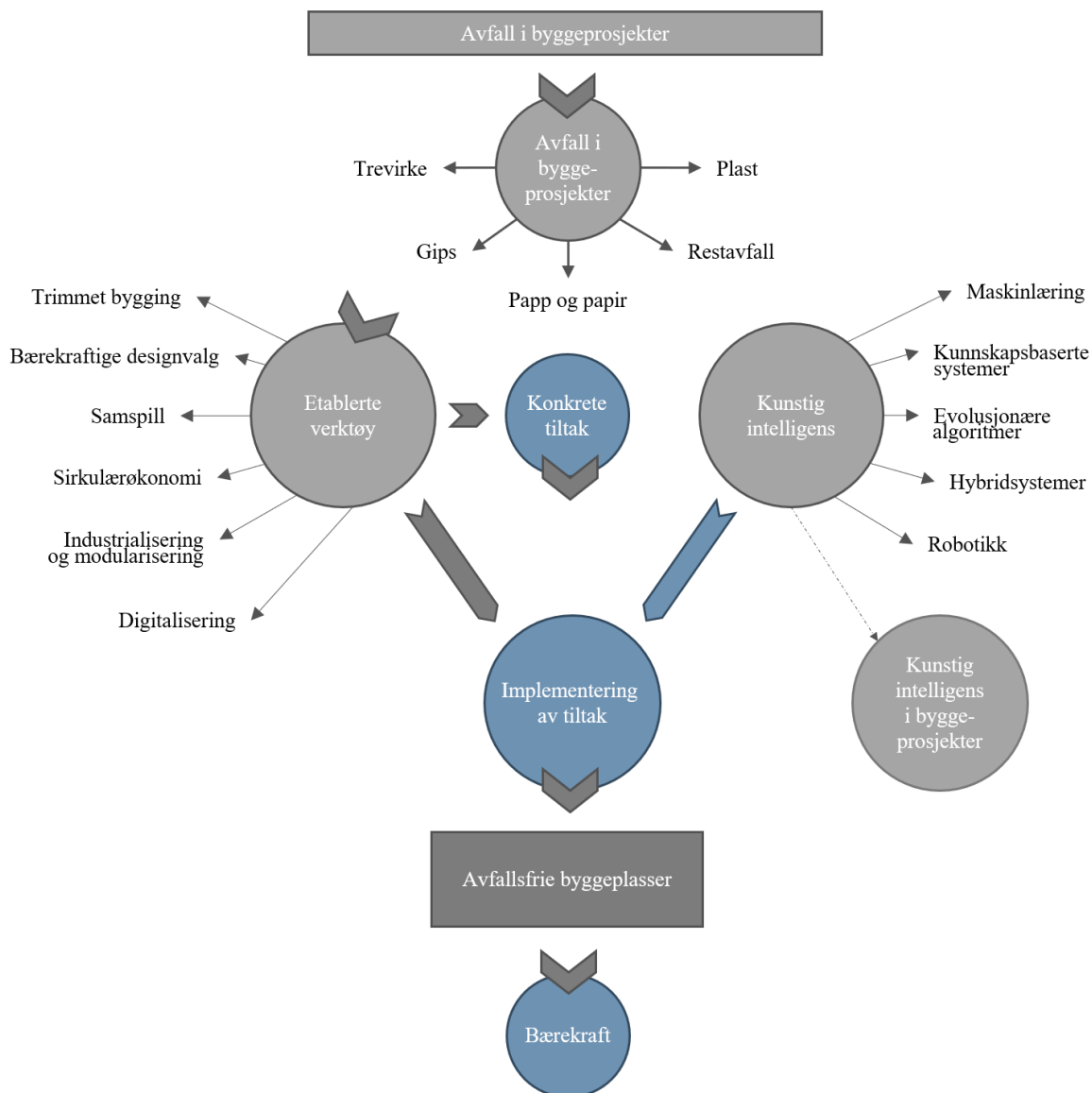
Figur 9 illustrerer sammenhengen mellom ulike tema som presentert gjennom kapittelet. Utvalgte avfallsfraksjoner er presentert og beskrevet for videre analyse; denne analysen vil gjøres med utgangspunkt i rammeverkene presentert i Figur 2 og Figur 3. Litteraturen har avdekket muligheter og barrierer for hver av de valgte fraksjonene.

Etablerte verktøy for avfallsreduksjon er introdusert, og vil benyttes for referanse i videre diskusjon av konkrete tiltak. Trimmet bygging er etter hvert vel forankret i bransjen, mens elementer knyttet til samspill, sirkulær økonomi, digitalisering, industrialisering og modularisering opplever stadig voksende oppmerksomhet.

Sentrale konsepter, verktøy og teknikker innen kunstig intelligens er kategorisert som maskinlæring, kunnskapsbaserte systemer, evolusjonære algoritmer, hybridsystemer og robotikk. Tidligere forskning på bruk av kunstig intelligens i byggeprosjekter er avdekket, med bruksområder som kalkulering av prosjektsuksess, kostnadsestimering, risikoanalyse, fremdriftsplanlegging, erfaringsoverføring og avfallshåndtering.

Tiltak relatert til nevnte konsepter er forventet å bidra til ambisjonen om avfallsfrie byggeplasser, og videre økt bærekraft. Med utgangspunkt i litteraturen forventes gevinster knyttet til både økonomisk, miljømessig og sosial bærekraft, for prosjektorganisasjonen og virksomheten for øvrig: konkurransefortrinn, mulighet til å møte krav og etterspørsel fra marked og myndigheter, godt omdømme, samt reduserte kostnader i produksjon.

Teori



Figur 9: Oppsummering av teoretisk rammeverk.

3 Metode

Kapittelet vil gi en innføring i hvilke metoder som er benyttet, hvordan metodene ble benyttet for tilrettelegging og innsamling av data, samt en vurdering av egnethet, reliabilitet og validitet for forskningsdesignet. Kapittelet vil videre reflektere omkring forskningsetiske forhold, og hvordan valgte metoder kan ha innvirket på oppgavens endelige kvalitet.

3.1 Forskningsdesign

For å besvare forskningsspørsmålene som definert innledningsvis ble en forskningsprosess basert på både kvantitative og kvalitative metoder benyttet. Følgende ble gjennomført:

- Litteratursøk
- Spørreundersøkelse
- 18 semistrukturerte dybdeintervjuer
- 14 strukturerte intervjuer per mail
- Dokumentanalyse
- Gjennomføring av kurs
- Deltakelse på seminar
- Deltakelse på webinar
- Prosjektbesøk
- Besøk hos Norsk Gjenvinning

Tabell 6 viser hvilke metoder som ble vektlagt for hvert enkelt forskningsspørsmål. Endelig diskusjon og konklusjon ble gjort på bakgrunn av all data innhentet i forkant av, og underveis i arbeidet, sett opp mot litteraturen som ble undersøkt.

Metode

Tabell 6: Vektlagt metode for hvert forskningsspørsmål.

Forskningsspørsmål	Metode
Hvilke tiltak er relevante for reduksjon av prioriterte avfallsfraksjoner?	Spørsmålet vil i hovedsak baseres på utvalgte kvalitative metoder: litteratursøk, semistrukturerte og strukturerte intervjuer, dokumentanalyse og øvrig datainnsamling, i tillegg til gjennomført spørreundersøkelse.
Hvordan kan de identifiserte tiltakene implementeres?	Spørsmålet vil baseres på en kombinasjon av kvalitative og kvantitative metoder. Kvalitative metoder inkluderer litteratursøk, intervjuer, dokumentanalyse og øvrig datainnsamling. Kvantitative metoder inkluderer analyse av avfallsdata fra ni utvalgte prosjekter, og spørreundersøkelse.
Hvordan kan kunstig intelligens bidra i implementeringen av tiltakene?	Spørsmålet vil i hovedsak baseres på kvalitative metoder, med særlig fokus på gjennomførte kurs.
Hvordan kan de identifiserte tiltakene bidra til økt bærekraft i prosjektet?	Spørsmålet vil i hovedsak baseres på kvalitative metoder, med særlig fokus på semistrukturerte og strukturerte intervjuer.

I følge Johannessen *et al* (2016) handler forskningsdesign om å kartlegge hva og hvem som skal undersøkes, og hvordan dette skal gjøres i praksis. Hvilke metoder som er hensiktsmessige vil avhenge av oppgaven og forskningsspørsmål, tradisjonelt klassifiseres en metode gjerne som *kvantitativ* eller *kvalitativ*. Kvantitativ forskning baserer seg i hovedsak på tall og såkalte harde data, og kartlegger *at* noe skjer. Kvantitative studier har ofte høy grad av etterprøvbarehet (Olsson, 2011). Kvalitativ forskning baserer seg i større grad på tekst og myke data, og avdekker *hvorfor* noe skjer. Kvalitative metoder brukes ofte for å oppnå en helhetsforståelse, og er basert på muntlig eller tekstlig informasjon (Olsson, 2011). I kvalitative undersøkelser er ofte etterprøvbarehet en utfordring.

Alvesson og Sandberg (2013) klassifiserer forskningsspørsmål innen fire kategorier: deskriptive, komparative, forklarende og normative. Forskningsspørsmålene som definert i Kapittel 1 vil i hovedsak kunne klassifiseres som deskriptive. For slike spørsmål anbefaler

Metode

Jacobsen (2015) en kvalitativ tilnærming, der forskningsprosessen konsentrerer seg om noen få undersøkelsesenheter, og mangfoldet i fortolkning og opplevelser blant disse enhetene legges til grunn for videre analyse. Forskningsdesignet var i hovedsak kvalitativt, men benyttet kvantitative elementer som et supplement i analysen.

Tabell 7: Oversikt over valgte metoder for datainnsamling.

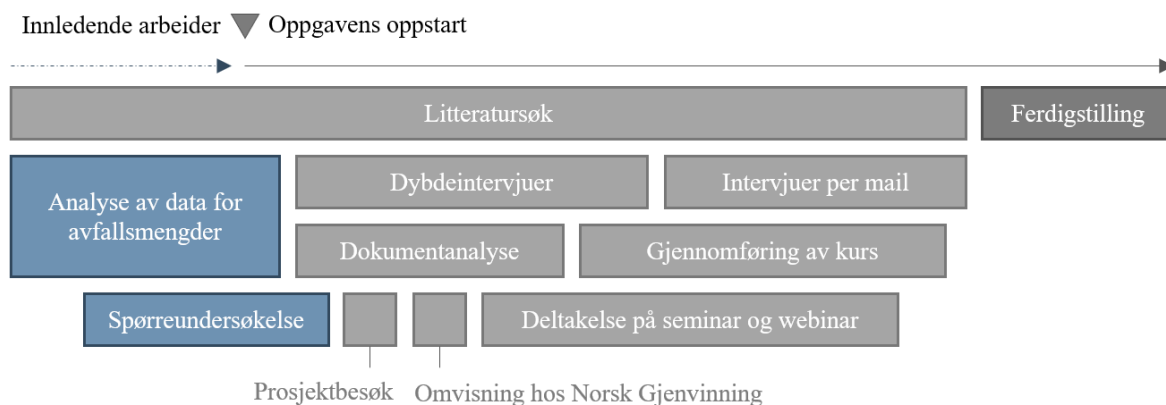
Forskningsmetode	Form	Datakilde	Type
Litteratursøk	n/a	Sekundær	Kvalitativ
Analyse av data for avfallsmengder	n/a	Sekundær	Kvantitativ
Spørreundersøkelse	Strukturert	Primær	Kvantitativ
Dybdeintervjuer	Semistrukturert	Primær	Kvalitativ
Intervjuer per mail	Strukturert	Primær	Kvalitativ
Dokumentanalyse	n/a	Sekundær	Kvalitativ
Gjennomføring av kurs	n/a	Sekundær	Kvalitativ
Deltakelse på seminar	n/a	Primær	Kvalitativ
Deltakelse på webinar	n/a	Primær	Kvalitativ
Prosjektbesøk	n/a	Primær	Kvalitativ
Besøk hos Norsk Gjenvinning	n/a	Primær	Kvalitativ

Kombinasjon av kvalitative og kvantitative metoder er en form for triangulering (Thagaard, 2003). Forskningsdesignet kombinerer strukturert og semistrukturert datainnsamling, primære og sekundære datakilder, og kvalitative og kvantitative metoder, for å kompensere for eventuelle svakheter knyttet til de enkelte metodene. Mer om dette i Kapittel 3.10. Figur 10 illustrerer oppgavens forskningsdesign, basert på metodene presentert i Tabell 7.

Litteraturen skiller videre mellom primære og sekundære data. Primærdata er data som forskeren selv samler inn (Jacobsen, 2015). Dette gir forskeren relativt god kontroll over dataenes kvalitet og relevans. Sekundærdata er data som allerede foreligger, og ikke er samlet inn av forskeren selv; ved bruk av sekundære data må forskeren derfor vurdere relevans og eventuelle feilkilder i datamaterialet opp mot sin egen forskning (Halvorsen, 2008).

Metode

Sekundære datakilder kan være et nyttig supplement til egen datainnsamling, og bidra til et bredere perspektiv på det aktuelle temaet. Forskeren må imidlertid være oppmerksom på hvordan formålet for innsamlingen, benyttede metoder og fokusområde for datakilden eventuelt skiller seg fra forskerens eget arbeid.



Figur 10: Oppgavens forskningsdesign.

Innledende arbeider betegner arbeidsoppgavene som ble gjort i forkant av oppgavens formelle oppstart; dette inkluderte litteratursøk, analyse av data for avfallsmengder og spørreundersøkelsen. Som Figur 10 illustrerer, foregikk flere deler av datainnsamlingen parallelt. På denne måten kunne funn fra én kilde informere og perspektivere forskning og funn fra andre kilder underveis i prosessen.

3.2 Litteratursøk

Strukturerte litteratursøk er svært nyttige for å finne relevant informasjon, eksisterende forskning og metoder som tidligere er benyttet innen et felt (Johannessen *et al*, 2016). Resultatet fra litteratursøket kan legges til grunn for videre forskning, og er en viktig faktor i å skape forståelse for eget resultat (Tjora, 2017). Et grundig litteratursøk bidrar også til å utelukke at forskning gjøres på lite relevante tema, eller at forskningen besvarer spørsmål som allerede er besvart (Everett og Furuseth, 2012). Litteratursøket ble besluttet begrenset til fire søkemotorer, av hensyn til oppgavens omfang. Følgende søkemotorer ble benyttet:

Metode

- Oria
- Scopus
- Google Scholar
- Google

Ved oppgavens oppstart ble en samling søkeord valgt, og senere kombinert, for mest mulig helhetlige resultater. Utgangspunktet for valget var forskningsspørsmålene som definert i Kapittel 1, men underveis i søket ble listen med søkeord utvidet, etter inspirasjon fra funn. Avanserte litteratursøk ble gjennomført i tråd med anbefalinger fra VIKO (2019a). Tre grupper av søkeord ble definert, basert på oppgavens tre hovedområder. Søkeord og kategorier benyttet i litteratursøk er oppsummert i Tabell 8.

Tabell 8: Søkeord og kategorier benyttet i litteratursøk.

Byggebransjen	Avfallsreduksjon	Kunstig intelligens
<ul style="list-style-type: none">• byggeplass / <i>construction site</i>• byggeprosjekt* / <i>construction project*</i>• byggebransje* / <i>construction industry</i>	<ul style="list-style-type: none">• avfall / <i>waste</i>• avfallsreduksjon / <i>waste reduction</i>• avfallsfri / <i>waste free</i>• trevirke OR trelast / <i>timber</i>• gips / <i>plaster</i>• papp og papir / <i>cardboard and paper</i>• plast / <i>plastic</i>• restavfall / <i>mixed waste</i>• sortering / <i>sorting</i>• sorteringsgrad / <i>waste separat*</i>	<ul style="list-style-type: none">• kunstig intelligens / <i>artificial intelligence</i>• maskinlæring / <i>machine learning</i>• dyplæring / <i>deep learning</i>• nevrale nettverk / <i>neural networks</i>• robot* / <i>robot*</i>• kunnskapsbaserte systemer / <i>knowledge based systems</i>• evolusjonære algoritmer• hybridssystemer

Fordi deler av tematikken er relativt lite utforsket, ga fagspesifikke databaser få funn for visse kombinasjoner av nøkkelord, derfor ble også Google benyttet. Google gir det bredeste utvalget av litteratur blant søkemotorene; litteraturen som dukker opp bør ikke benyttes ukritisk, men kan eksempelvis fungere til inspirasjon, eller bidra til funnet av andre, kvalitetssikrede kilder. Der dette var mulig ble opprinnelige kilder alltid benyttet.

Underveis i arbeidet ble *snøballmetoden* benyttet. En kilde ledet videre til en annen gjennom referanser og henvisninger. Både norske og internasjonale forskningsartikler ble benyttet i

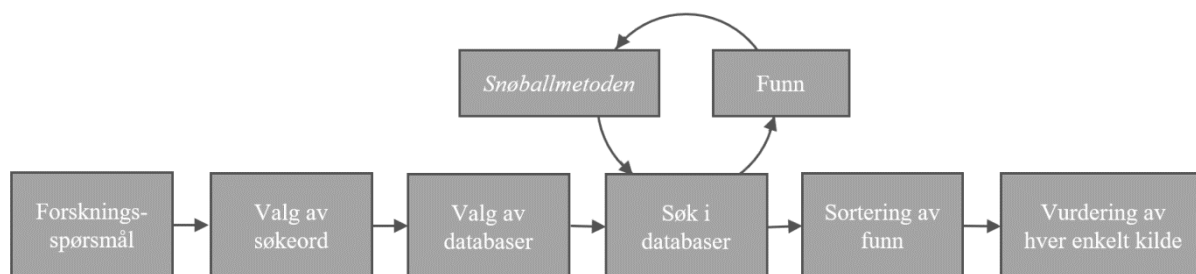
Metode

arbeidet, da land som Danmark og Nederland eksempelvis har kommet betydelig lengre i arbeidet mot avfallsfrie byggeplasser; det samme gjelder implementeringen av teknikker klassifisert som kunstig intelligens. For å sikre relevans i litteraturens innhold, men samtidig beholde et bredt perspektiv, ble litteratur fra 2000 benyttet i videre analyse.

Oppsummert ble litteratur i hovedsak vurdert som relevant på bakgrunn av følgende kriterier:

1. Litteratur publisert i perioden 2000 til 2019
2. Litteratur på norsk eller engelsk
3. Litteratur om avfallshåndtering eller sirkulær økonomi
4. Litteratur om avfallshåndtering eller sirkulær økonomi i byggebransjen
5. Litteratur om kunstig intelligens
6. Litteratur om kunstig intelligens i byggebransjen

Figur 11 illustrerer algoritmen benyttet i søket, i henhold til anbefalinger fra Johannessen *et al* (2016). I kombinasjon med ovennevnte kriterier, utgjorde denne oppgavens søkestrategi.



Figur 11: Algoritme benyttet i litteratursøk.

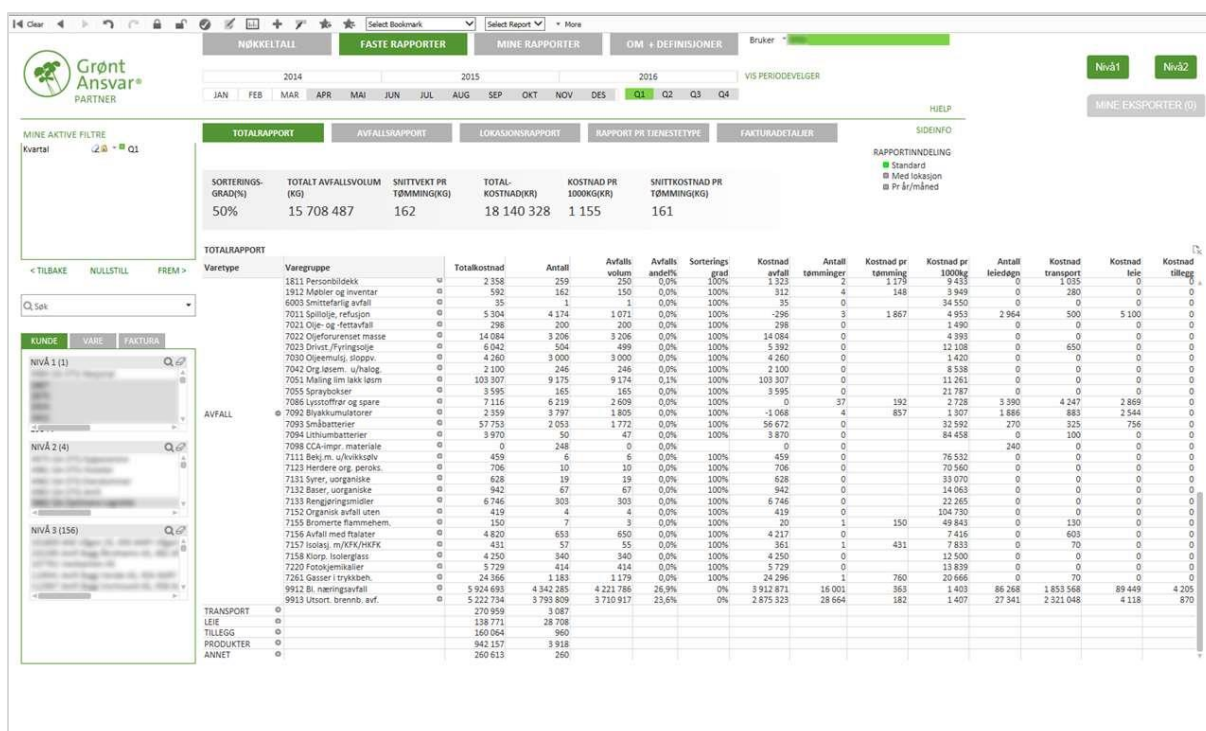
Tydelige kriterier for inkludering og ekskludering av kilder, kombinert med systematisk kombinasjon av søkeord viste seg å være svært effektivt. Flere ulike kombinasjoner av søkeord gav samme resultater; dette kan tyde på god relevans av valgte kilder. Ved vurdering av hver enkelt kilde ble VIKOs (2019b) kriterier for troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egnethet benyttet. *Troverdighet* kan handle om troverdigheten til forfatteren selv, forfatterens utdanning eller institusjonstilknytning. Anerkjente utgivere eller fagfellevurderinger kan også styrke troverdigheten. *Objektivitet* kommer til syne i forfatterens presentasjon av data. At alle sider av en sak er belyst er et tegn på høy grad av objektivitet. *Nøyaktighet* kan vurderes ut i fra

Metode

forskningsmetodikk, hvorvidt litteraturen er oppdatert og stemmer overens med annen litteratur. *Egnethet* omhandler i hvilken grad litteraturen passer formålet med litteratursøket; eksempelvis hvorvidt litteraturen besvarer definerte forskningsspørsmål.

3.3 Analyse av data for avfallsmengder

Grønt Ansvar er et verktøy utviklet av Norsk Gjenvinning, for å gi små og store virksomheter kontroll over egen avfallsstatistikk gjennom rapporter, nøkkeltall og dokumentasjon knyttet til avfallshåndtering (Norsk Gjenvinning, u.d. a). Grønt Ansvar gir brukeren oversikt over en rekke karakteristikk knyttet til avfallshåndtering, eksempelvis avfallsvolum, sorteringsgrad, og kostnader knyttet til avhending. Rapportene som leveres er dynamiske, og systemet kan derfor skille mellom ulike avfallsfraksjoner, mengder, kostnader og prosjekter etter behov.



Figur 12: Brukergrensesnitt i Grønt Ansvar (Norsk Gjenvinning, u.d. b).

I analysen av avfallsmengder ble avfallsfraksjonene klassifisert og kategorisert i henhold til Norsk Gjenvinnings egne retningslinjer for avfallstyper (Norsk Gjenvinning, u.d. c) og Norsk Standard NS 9431:2011 Klassifikasjon av avfall (Standard Norge, 2011). Avfallskodene i Grønt Ansvar er de samme som benyttes av Norsk Gjenvinning. Tabell 9 oppsummerer hvilke avfallskoder som ble benyttet for hvilke fraksjoner.

Tabell 9: Avfallskoder for hver fraksjon i Grønt Ansvar.

Trevirke	Gips	Papp og papir	Plast	Restavfall
1141	1615	1221	1711	9912
1142			1721	9913
1143			1729	
1149			1731	

Leverte gravemasser, rene eller forurensede masser, ble ikke inkludert i avfallstallene da disse ikke omfattes av Byggteknisk forskrift, og heller ikke inkluderes i prosjektenes avfallsplaner (Direktoratet for byggkvalitet, 2017). Data knyttet til bruttoareal (BTA) i prosjektene ble hentet fra Skanskas intranett, ISI. Dette ble benyttet til å beregne indikatoren kg avfall per kvm bygg totalt, og for fraksjonene trevirke, gips, papp og papir, plast og restavfall. Dette ble gjort for et utvalg bestående av 161 unike prosjekter. Fra dette utvalget ble ni prosjekter valg for videre analyse, med utgangspunkt i følgende kriterier:

- Prosjektene hadde indikatorer representative for det totale utvalget
- Prosjektene var av ulik størrelsesorden
- Prosjektene benyttet kun Norsk Gjenvinning for avfallshåndtering
- Prosjektene var nybyggprosjekter
- Prosjektene var ferdigstilte

For å forstå hvordan tiltakene kan implementeres mest mulig effektivt er det ønskelig å vite når i produksjonen de ulike fraksjonene oppstår. I denne analysen ble avfallsmengdene for hver enkelt måned i hvert enkelt prosjekt identifisert og oppsummert, for å skape en oversikt over hvilke fraksjoner som oppstår i hvilke stadier av produksjonsfasen.

3.4 Spørreundersøkelse

I forbindelse med kartlegging av kompetanse og erfaring fra ansvarlige for avfallshåndtering i prosjektene, ble en spørreundersøkelse utstedt juli 2019 gjennom tjenesten Questback. Undersøkelsen gikk ut til prosjektledere, HMS-ledere og andre ansvarlige for avfallshåndtering i prosjektene. Spørreundersøkelsen er gjengitt i sin helhet i Vedlegg A. Totalt mottok 105

Metode

personer skjemaet, og 21 personer besvarte undersøkelsen. Dette tilsvarer en svarprosent på 20 %, og stemmer overens med Jacobsen (2015), som anslår 10-20 % respons på spørreskjema over internett og mail. Olsson (2011) trekker frem lav svarandel som en typisk problemstilling ved spørreundersøkelser som metode, men at svarprosenten kan økes ved å sende ut purringer. Dette ble gjort ved to anledninger.

Jacobsen (2015) peker på en styrke ved at metoden er rimelig, men at det kan være tidkrevende å få svar, og at et vellykket spørreskjema avhenger av enkle formuleringer. Respondentenes svar er oppsummert i Vedlegg B, med unntak av personopplysninger. Disse ansees ikke som viktig for oppgavens videre diskusjon, og ble kun forespurt for å kunne følge opp respondenter underveis i arbeidet ved behov.

I et forsøk på å øke svarprosenten ble spørsmålene markert som *ikke obligatoriske*. Hensikten var at hver enkelt respondent selv kunne avgjøre hvorvidt de hadde grunnlag for å svare på enkeltspørsmål. På denne måten kunne respondentene selv vurdere hvilke spørsmål som var mest aktuelle for hver enkelt. Dette resulterte i at ikke alle 21 respondentene besvarte alle spørsmålene i undersøkelsen. Hvorvidt justeringen faktisk senket terskelen for å besvare undersøkelsen, og dermed økte den endelige svarprosenten, er uklart.

21 av 105 besvarte undersøkelsen som ble sendt ut, noe som i utgangspunktet gir resultatet av undersøkelsen noe lav pålitelighet. Samtidig svarte mange respondentene svært likt på flere spørsmål, noe som styrker reliabiliteten. Svarene som ble gitt skulle også vise seg å stemme godt overens med svarene som senere fremkom gjennom intervjuer, samt datamateriale registrert i Grønt Ansvar - dette styrker reliabiliteten ytterligere.

Statistikk fra leverandøren av undersøkelsen, Questback, viste at ytterligere 11 respondenter hadde startet undersøkelsen, men avbrutt underveis. Disse svarene ble ikke tilgjengelige i rapporten fra undersøkelsen. At 11 respondenter valgte å avbryte underveis kan tyde på at undersøkelsen opplevdes for omfattende, eller ble sendt ut på et ubeleilig tidspunkt.

Det er nærliggende å anta at undersøkelsen kunne mottatt flere svar dersom den hadde blitt distribuert ved et annet tidspunkt. Undersøkelsen ble sendt ut i forbindelse med arbeidet som sommervikar, og kolliderte derfor med fellesferien for mange av de tilsiktede respondentene. Undersøkelsen ble første gang distribuert tidlig juli, og avsluttet sent august.

Kanskje kunne undersøkelsen mottatt flere svar dersom skjemaet var mer kortfattet, men dette kunne gått på bekostning av gode innspill og refleksjoner som fremkom i de mest åpne formuleringene. Svarene var av god kvalitet, og ble viktig for videre undersøkelser. Resultatet av undersøkelsen la grunnlaget for videre kontakt med kandidater med gode besvarelser, og var en viktig faktor i valg av retning for oppgaven.

Olsson (2011) anbefaler at man ber en leder i en organisasjon anbefale respondentene å gjennomføre spørreundersøkelsen. Dette ble gjort, ved at regionale HMS-ledere ble bedt om å videresende undersøkelsen til sine kolleger med en oppfordring om å svare.

3.5 Dybdeintervjuer

I forbindelse med oppgaven ble 18 semistrukturerte dybdeintervjuer gjennomført. Tjora (2017) peker på tidsbruken som den største utfordringen ved dybdeintervjuer, ettersom forberedelser og etterarbeid kan være svært tidkrevende. Intervjuet som forskningsmetode skal være en strukturert samtale med et formål (Johannessen *et al*, 2016).

Samtlige informanter ble valgt som en del av et strategisk utvalg, et utvalg hvor informantene er valgt fordi de har noe å tilføye om temaet som studeres (Dalland, 2012). To utvalg ble definert for oppgaven. Kompetanse og eller interesse innen miljø som fagfelt var et grunnleggende kriterium for det første utvalget. Informantene hadde enten erfaring fra arbeid og avfallshåndtering i byggeprosjekter, eller avfallshåndtering i andre sektorer. For det andre utvalget var kompetanse og eller interesse innen kunstig intelligens sentralt; også i dette utvalget ble det etterstrebet å finne informanter med kompetanse fra byggeprosjekter.

Ti av informantene ble kategorisert i første utvalg, og fire i andre utvalg. De siste fire ble vurdert til å kunne kategoriseres i begge utvalg. I det endelige utvalget var 14 av informantene ansatte i byggebransjen, og fire ansatte i fagmiljøer ved NTNU.

Forskeren bør etterstrebe et utvalg som møter et teoretisk metningspunkt; et utvalg hvor en ny enhet ikke lenger tilfører noe vesentlig nytt til forskningen (Thagaard, 2003). Dette ble fulgt opp ved å kontinuerlig gjennomgå og sammenligne svar fra gjennomførte intervjuer. Enkelte

Metode

tema nådde metningspunktet tidligere enn andre; i disse tilfellene ble et større fokus lagt på de umettede emnene i oppfølgingsspørsmål og ved videre valg av informanter.

Allerede eksisterende nettverk innen bransjen ble benyttet for innledende forespørsler. Senere ble informanter valgt ved hjelp av *snøballmetoden*. Snøballmetoden er en utvalgsmetodikk hvor en forsker starter med et relativt lite utvalg av førstekontakter, hvor utvalget gradvis vokser ved at førstekontaktene gir forskeren tips til nye informanter (Tjora, 2017). Denne metoden ble utnyttet ved å inkludere et spørsmål i intervjuguiden som ba informantene tenke på potensielle nye informanter.

Tjora (2017) understreker at detaljerte lydopptak og transkripsjoner er vesentlige for å oppnå en mest mulig riktig analyse, og anbefaler at intervjueren unngår kompromisser på dette feltet. Dette ble gjort for 14 av 18 intervjuer. En viktig del av forberedelsene var derfor å informere informantene om bakgrunnen for arbeidet, ønsket gjennomføring, og hente inn samtykke for bruk av lydopptak i forkant av selve intervjuet. Intervju der lydopptak ikke ble benyttet ble transkribert øyeblikkelig etter endt samtale, etter anbefaling fra Dalen (2004).

To intervjuguider ble utarbeidet for oppgaven. Én guide fokuserte på tematikk knyttet til avfallsreduksjon i byggeprosjekter, spisset mot det første av de to definerte utvalgene. Den andre guiden fokuserte på tematikk knyttet til kunstig intelligens, spisset mot det andre av de to definerte utvalgene. Intervjuguidene er gjengitt i sin helhet, henholdsvis i Vedlegg C og Vedlegg D. Underveis ble det foretatt mindre justeringer i formulering eller vinkling, tilpasset hver enkelt informant. For noen av informantene ble spørsmål fra de to intervjuguidene kombinert. Tjora (2017) anbefaler at intervjuet starter med oppvarmingsspørsmål; enkle, konkrete spørsmål som omhandler informantens faglige bakgrunn, konkrete arbeidsoppgaver og lignende. Deretter introduseres refleksjonsspørsmålene, selve kjernen i intervjuet (Tjora, 2017). Disse spørsmålene skal la informanten gå i dybden i ulike deler av temaet. Her må intervjueren definere konkrete spørsmål, og forberede oppfølgingsspørsmål. Til slutt skal intervjuet avsluttes med avrundings spørsmål, som skal lede oppmerksomheten vekk fra refleksjonsspørsmålene, og normalisere situasjonen mellom intervjuer og informant (Tjora, 2017). Jacobsen (2015) anbefaler også å be om en sluttkommentar. Dette ble implementert i intervjuguiden. En semistrukturert intervjuguide innebærer en overordnet struktur for samtalen, men åpner også for innspill fra informanten selv (Johannessen *et al*, 2016).

Metode

Intervjuerens utfordring er å finne balansen mellom fri samtale og intervjuguide, og mellom abstrakte og ledende spørsmål (Thagaard, 2003). Erfaringsmessig foretrekker enkelte informanter å selv styre intervjuet med egne tanker og refleksjoner, mens andre foretrekker å svare kortere på spørsmål fra intervjueren. En stor del av arbeidet handlet derfor om å formulere en intervjuguide som la til rette for begge tilfeller.

En viktig forutsetning for å lykkes med intervjuene er at intervjueren klarer å skape en avslappet stemning, som åpner for at informanten kan tenke høyt (Tjora, 2017). Dette ble implementert i arbeidet ved at intervjuene ble gjennomført på informantenes premisser. Informantene fikk selv bestemme tid og sted, og intervjuene ble gjennomført på informantens kontor, eller andre steder, etter ønske. Målet var at dette skulle bidra til en følelse av trygghet hos informanten. Noen intervjuer måtte gjennomføres over Zoom eller Skype. I disse tilfellene fikk informanten fremdeles styre tid og, til en viss grad, sted.

Det største etterarbeidet var transkribering av gjennomførte intervjuer, en omfattende prosess. Tjora (2017) påpeker at det viktigste tapet ved transkribering er visuelle ledetråder og informasjon om stemningen underveis i intervjuet. Der det var nødvendig med oppklaring ble oppfølgingsspørsmål sendt til informantene med utgangspunkt i transkripsjoner.

3.6 Intervjuer per mail

14 intervjuer ble gjennomført per mail, der informanten av ulike årsaker foretrakk dette formatet. Dette kan medføre en rekke ulemper. Tjora (2017) understreker at å benytte mail til intervjuer kan fungere bra, gitt at informantene er engasjerte i temaet, og peker på en vesentlig fordel i at forskeren slipper transkribering i etterkant. En utfordring med intervjuer per mail er at man må regne med vesentlig kortere refleksjoner fra informanten enn det man ville fått ansikt til ansikt. Ved å ikke gjennomføre intervjuene ansikt til ansikt vil forskeren også risikere å gå glipp av nyanser i svarene, som kan utgjøre en viktig del av datagrunnlaget.

Intervjuene ble gjennomført ved at aktuelt personell ble kontaktet med en innledende forespørsel. Den første henvendelsen inneholdt en kort beskrivelse av oppgavens tema, og bakgrunnen for forespørselen. Dersom den aktuelle kandidaten meldte interesse for oppgaven, ble et utvalg spørsmål oversendt. Spørsmålene ble basert på intervjuguidene som gjengitt i

Vedlegg C og Vedlegg D, men tilpasset hver enkelt informant, avhengig av stilling og erfaring. Intervjuene gjennomført over mail fikk, naturlig nok, en mer strukturert form. Åtte informanter ble kategorisert til første utvalg, og resterende seks til andre utvalg.

Å avholde intervjuer per mail åpner opp for at misforståelser kan oppstå, i større grad enn ved intervjuer ansikt til ansikt. Det kan oppstå misforståelser knyttet til formuleringer eller valg av ord og begreper, både hos intervjuer og informant, uten at disse oppdages. Effekten av eventuelle misforståelser kan reduseres ved at forskeren sender oppfølgingsspørsmål til respondenten i ettertid dersom noe fremstår uklart eller tvetydig.

3.7 Dokumentanalyse

Olsson (2011) anbefaler dokumentgjennomgang som en forberedende aktivitet, og dokumentanalysen ble derfor gjennomført tidlig i prosessen, som illustrert i Figur 10. Aktiviteten var svært nyttig, og gav et godt oversiktsbilde av interne og eksterne forhold knyttet til tematikken. Tjora (2017) klassifiserer dokumentanalyse som en form for kvalitativ datagenerering. Dokumentanalyse benyttes gjerne som sekundære data i en studie, for å underbygge øvrige funn. Eksempler på data i en dokumentanalyse kan være standarder og lovverk, ulike medier eller forskningsdokumenter, interne eller eksterne. En dokumentanalyse kan bidra til økt forståelse for øvrige innsamlede data, og ble vurdert som en verdifull og objektiv kilde til data. En objektiv beskrivelse av tingenes tilstand var et nyttig supplement til et forskningsdesign for øvrig basert på utvalgte informanters erfaringer og kunnskap.

Interne dokumenter som ble gjennomgått var dokumenter i Skanska som omhandlet retningslinjer for håndtering av avfall, ambisjoner for miljø eller øvrige instruksjoner for hvordan disse temaene skal ivaretas og følges opp i et prosjekt. Eksterne dokumenter som ble gjennomgått innebar eksempelvis NS 9431 Klassifikasjon av avfall og Forurensningsloven. En svakhet ved dokumentanalyse er at en kvalitetskontroll av dokumentene ikke alltid er mulig, særlig for tema hvor litteraturen er begrenset.

3.8 Øvrig datainnsamling

Som skissert i Figur 10, ble også en rekke andre aktiviteter benyttet for datainnsamling. Herunder gjennomføring av relevante kurs, deltakelse på seminar og webinar, prosjektbesøk med befarung av avfallsstasjon, samt omvisning hos Norsk Gjenvinning.

3.8.1 Gjennomføring av kurs

Kurset *Elements of AI* ble gjennomført over seks uker i perioden mars til april 2020, for å få en grunnleggende innføring i fagfeltet. Kurset er utviklet av Reaktor, Helsingfors Universitet og Feed for å gjøre kunnskap om kunstig intelligens mer tilgjengelig (Reaktor, 2020).

Etter anbefaling fra et intervjuobjekt ble også tre kurs fra DigitalNoway gjennomført: *Innføring i kunstig intelligens*, om muligheter og problemstillinger knyttet til utviklingen av kunstig intelligens; *Innføring i Robotic Process Automation*, om robotikk og automatisering av rutineoppgaver; og *Tingenes internett*, om kommunikasjon mellom fysiske enheter via internett (DigitalNorway, 2020). Kursene gav en grunnleggende forståelse av hvert enkelt tema, og dermed et solid grunnlag for valg av metoder og fokusområder i videre arbeid.

3.8.2 Deltakelse på seminar

I forbindelse med oppgaven ble to ulike samlinger med tematikk knyttet til avfallsreduksjon i byggeprosjekter besøkt. En samling i regi av Norsk Gjenvinning, med tema *Avfallsreduksjon tilknyttet trevirke: gjenbruk og gjenvinning*. Den andre samlingen i regi av Byggenæringens Landsforening, med tema *Analyse av sirkulær økonomi i bygg, anlegg og eiendom*. Seminarene var i all hovedsak basert på erfaringsutveksling blant deltakende aktører.

Organisert datagenerering i form av fokusgrupper, hvor et antall informanter samles for å diskutere et eller flere tema er svært effektivt, fordi det gir forskeren en mulighet til å utvikle data fra flere informanter samtidig (Tjora, 2017). Deltakelsene viste seg å bli svært nyttige for oppgaven; dette både i form av verdifulle innspill til valg av tema og fokus for oppgaven, og som et viktig supplement for utvalg av informanter til semistrukturerte og strukturerte intervjuer.

3.8.3 Deltakelse på webinar

For å kunne observere og delta i faglig diskusjon utover tilgjengelige fysiske seminar ble et ti webinarer vurdert som relevante for deltakelse. Webinarene var basert på en kombinasjon av presentasjoner, spørsmålsrunder og diskusjoner blant deltakerne. Fire webinar fokuserte på ombruk av byggematerialer, sirkularitet, delingsøkonomi og bærekraft:

- *Delingsøkonomi og bærekraftig byutvikling* i regi av Futurebuilt
- *Grunnsteinene for sirkularitet* i regi av ProsjektNorge
- *ReHub* i regi av ProsjektNorge
- *Sirkulære byer* i regi av FutureBuilt

Tre webinar fokuserte på bruken av kunstig intelligens i byggebransjen:

- *AI i prosjekter* i regi av ProsjektNorge
- *Smartbygg* i regi av Multiconsult
- *Kunstig intelligens* i regi av Prosjekt Norge

I tillegg ble kursmaterieell fra tre tidligere webinar i regi av Tekna gjennomgått:

- *Lean for byggebransjen*
- *Roboter på byggeplass*
- *Sirkulær økonomi i byggebransjen*

En ulempe med virtuell deltakelse, sammenlignet med faktisk deltakelse, er at deltakeren ikke alltid får anledning til å selv delta i diskusjoner omkring tematikken. Videre risikerer den virtuelle deltakeren å gå glipp av nyanser i uttalelser eller vinklinger, som fremstår tydelig for tilstedeværende deltakere. En fordel med virtuell deltakelse er at enkelte kurs kan gjennomføres når det skulle være mest hensiktsmessig, og dersom poenger i en presentasjon fremstår uklare, kan deltakeren ha muligheten til å pause presentasjonen. Deltakeren har også muligheten til å delta fra en hvilken som helst geografisk lokasjon med internett-tilkobling.

3.8.4 Prosjektbesøk

For å skape en mer helhetlig forståelse av problemstillingen var det ønskelig å benytte flere innfallsvinkler. Som et supplement til en teoretisk tilnærming ble et prosjektbesøk til et av Skanskas pågående prosjekter gjennomført. Besøket ble kombinert med intervjuer av personell på byggeplassen, samt en befaring av avfallsstasjonene på det aktuelle prosjektet.



Figur 13: Befaring av avfallsstasjon.

Befaring av avfallsstasjonene ble gjort sammen med anleggsarbeider på prosjektet. Dette åpnet for spørsmål knyttet til enkeltelementer eller fraksjoner observert i containere på avfallsstasjonen, og viste seg å være svært nyttig for en mer helhetlig forståelse av hvordan avfallsfraksjonene oppstår og kommer til syne på byggeplassen.

3.8.5 Besøk hos Norsk Gjenvinning

I forbindelse med deltakelse på samlingen i regi av Norsk Gjenvinning, ble en omvisning i Norsk Gjenvinnings anlegg på Alnabru i Oslo gjennomført. Omvisningen gav en overordnet forståelse av mulighetene og begrensningene Norsk Gjenvinnings anlegg representerer i arbeidet mot avfallsfrie byggeplasser, og ble gjennomført sammen med Prosjektleder for innovasjon, strategi og bærekraft hos Norsk Gjenvinning.



Figur 14: Omvisning i Norsk Gjenvinnings anlegg.

Underveis i omvisningen ble spørsmål knyttet til både anlegget og avfallsfraksjonene besvart.

3.9 Dataanalyse

3.9.1 Kvalitativ dataanalyse

Jacobsen (2015) understreker at målet med en kvalitativ dataanalyse er å konkretisere hver enkelt bit av innsamlet materiale for å kunne sammenligne bestanddelene. Den kvalitative analysen skal gi leseren økt kunnskap om aktuelle tema, uten at leseren selv må gjennomgå innsamlede data (Tjora, 2017). Holme og Solvang (1996) deler den kvalitative dataanalysen inn i tre deler: tilrettelegging av data, innholdsanalyse og formidling av data.

For intervjuer kan tilrettelegging av data gjøres ved transkribering av lydopptak, og notater fra intervjusituasjonen. Dette var tilnærmingen som ble valgt for de semistrukturerte dybdeintervjuene. Transkripsjonene ble gjennomført så fort som mulig etter endt intervju, i henhold til anbefalinger fra Dalen (2004). Tilrettelegging av data fra intervjuer per mail bestod av oppfølgingsspørsmål til den aktuelle informanten der enkelte poenger fremstod uklare. Tilrettelegging av data fra dokumentanalyse handler i all hovedsak om kildekritikk (Holme og Solvang, 1996). Dette ble, på samme måte som i litteratursøket, praktisert ved bruk av kriterier for troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egnethet. For øvrige metoder ble tilrettelegging av data gjort ved strukturering av egne notater fra aktuelle samlinger.

Det ble tidlig tydelig at et bredt spekter av metoder, kombinert med kunnskapsrike og engasjerte informanter, gav et svært omfattende datagrunnlag for oppgaven. Av omfangsmessige årsaker ble det derfor nødvendig å begrense hvilke data som skulle inkluderes i oppgaven. Dette ble en viktig del av tilretteleggingen av datamaterialet. Informasjonen som i størst grad besvarte forskningsspørsmålene som definert ble prioritert for videre arbeid. Øvrige data ble benyttet til perspektivering av temaet.

For selve innholdsanalysen anbefaler Jacobsen (2005) en intuitiv kategorisering av innsamlede data. Det ble vurdert hensiktsmessig å ta utgangspunkt i forskningsspørsmålene som definert. Dette ble gjort for å kunne sammenligne data innhentet fra ulike informanter, gjennom ulike metoder. Innledende oppdeling bestod av de prioriterte avfallsfraksjonene: trevirke, gips, papp og papir, plast og restavfall. Etter hvert som konkrete muligheter, tiltak og gevinster ble avdekket gjennom arbeidet, ble innsamlede data også kategorisert i henhold til disse.

Metode

Kategoriseringen bidro til å perspektivere uttalelsene fra hver enkelt informant, og viste seg svært nyttig for nyansering av datamaterialet på tvers av de ulike metodene. I praksis ble analysen gjennomført ved markering av transkripsjoner, svar og notater, med fargekoder for hver kategori. Kategoriseringen involverte alle metoder benyttet i oppgaven.

En fremstillingsform hyppig brukt ved formidling av data er såkalt *tematisering* (Dalen, 2004). Den brukes gjerne som en forlengelse av en kategorisering som beskrevet ovenfor. Fremstillingsformen ble ansett som hensiktsmessig for denne oppgaven, da den lar forskeren sammenligne resultater på tvers av ulike metoder, på samme måte som kategoriseringen i innholdsanalysen. Ofte kan en finne igjen denne presentasjonsformen også i den endelige studien; for denne oppgaven illustrert i oppbyggingen av Kapittel 5.

3.9.2 Kvantitativ dataanalyse

I forbindelse med analyse av data for avfallsmengder ble en kvantitativ dataanalyse gjennomført. Holme og Solvang (1996) anbefaler en *fordelingsanalyse* for strukturering av alle involverte data. Formålet med struktureringen var å tilrettelegge samlede data for videre analyse. Analysen ble gjennomført i Excel. For analyse av avfallsmengdene i hver enkelt tidsperiode ble følgende kolonner etablert:

- Avfallsmengder for trevirke
- Avfallsmengder for gips
- Avfallsmengder for papp og papir
- Avfallsmengder for plast
- Avfallsmengder for restavfall
- Avfallsmengder for øvrige avfallsfraksjoner (annet)
- Total avfallsmengde i perioden
- Sorteringsgrad

Hver rad i datamatriksen inneholdt informasjon fra én måned i ett prosjekt. Alle mengder ble deretter akkumulert til total avfallsmengde, oppsummert i siste kolonne i hvert enkelt ark. Datamaterialet ble deretter oppsummert grafisk for videre analyse, som vist i Kapittel 4.1.

For spørreundersøkelser skiller Jacobsen (2015) mellom ulike typer analyse. Tolkning av spørsmål med metriske svaralternativer er uproblematisk, fordi svaralternativene allerede er tall (Jacobsen, 2015). For spørsmålene av en mer kvalitativ karakter trengs en mer kvalitativ analyse. Det ble besluttet å kategorisere disse svarene på samme måte som data innhentet ved rent kvalitative metoder, som beskrevet i forrige delkapittel.

3.10 Vurdering av forskningsdesign

Ved gjennomføring av kvalitative studier kan kriterier for reliabilitet, validitet og generaliserbarhet benyttes som indikatorer for kvalitet (Tjora, 2017; Jacobsen, 2015). Reliabilitet er relatert til oppgavens pålitelighet, og validitet til oppgavens gyldighet. Johannessen (2016) peker på at valg av metoder for innsamling av data kan påvirke kvaliteten av forskningen. Reliabilitet og validitet i studiet er viktig for å sikre henholdsvis pålitelighet og relevans (Dalland, 2012; Olsson, 2011). For litteratursøk kan dette innebære at både kildene som benyttes, og data som hentes fra kildene må være relevante. Ved intervju kan dette innebære at forskeren både må velge riktige informanter og riktige spørsmål. Mulige feilkilder kan ligge i forskerens vurdering av litterære kilder, forskerens vurdering av relevans i intervjuobjektets bakgrunn, formuleringen av spørsmålene, som kan misforstås eller kommuniseres uriktig, eller tolkningen av intervjuobjektens svar.

3.10.1 Reliabilitet

Reliabiliteten i en studie er forbundet med etterprøvnbarhet (Olsson, 2011). Reliabilitet omhandler nøyaktigheten av dataene som benyttes, hvordan dataene samles inn og hvordan de bearbeides (Johannessen, 2016). Tjora (2017) understreker at kvalitative metoder ofte medfører en viss grad av subjektivitet, som vil kreve bevissthet hos forskeren ved analyse. Dersom flere metoder gir samme resultat kan studien sies å ha høy reliabilitet.

Tjora (2017) fremhever viktigheten av å forstå hvordan forskerens egen posisjon kan påvirke forskningen. For å øke reliabiliteten av studiet anbefales forskeren derfor å tidlig reflektere over eget forhold og forventninger til datainnsamling, analyse og tolkning. Tidligere erfaring fra byggebransjen, samt arbeid med avfallsreduksjon, kan ha medført visse forventninger og

Metode

antakelser knyttet til tematikken, men kan også ha bidratt til økt forståelse av funnene. Lite kjennskap til fagfeltet kunstig intelligens bidro til en åpen og ufarget tilnærming til temaet.

For denne studien var det ønskelig å benytte triangulering for å undersøke hvorvidt funnene fra ulike datakilder sammenfalt. Triangulering innebærer å kombinere ulike metoder, og brukes for å kompensere for svakheter i de enkelte metodene (Olsson, 2011). Triangulering kan bidra til å sikre en dypere forståelse av et tema, og i større grad sikre både reliabilitet og validitet i studiet (Halvorsen, 2008; Denzin 2012).

3.10.2 Validitet

Validiteten i en studie er relatert til relevansen av studien, og indikerer hvorvidt studien besvarer problemstillingen som definert (Olsson, 2011). For en kvalitativ studie kan validiteten omhandle både utvalget av informantene, og innsamlingen av informasjon fra informantene (Everett og Furuseth, 2012). Litteraturen skiller mellom intern og ekstern validitet.

Intern validitet omhandler hvorvidt innsamlede data utgjør en riktig beskrivelse av virkeligheten (Jacobsen, 2015). Blant forhold som kan svekke intern validitet i en studie er eksempelvis manglende felles forståelse av begreper, som i en intervjusituasjon kan medføre misforståelser, og i ytterste konsekvens at intervjuer og informant snakker forbi hverandre. For å forhindre dette ble det underveis i datainnsamlingen etterstrebet å fortløpende definere og sammenligne all benyttet terminologi. I gjennomførte intervjuer ble dette gjort ved oppfølgingsspørsmål for å forsikre overensstemmelse underveis.

Ekstern validitet handler om hvorvidt funnene i studien kan generaliseres (Jacobsen, 2015). Et forhold som kan svekke ekstern validitet er et lite datagrunnlag, som kan hindre en representativ beskrivelse av fenomenet som studeres. For å forhindre dette ble et bredt utvalg av metoder benyttet, og aktører fra alle deler av verdikjeden ble involvert. Dette garanterer ikke generaliserbarhet, men kan bidra.

3.10.3 Generaliserbarhet

Ekstern validitet og generaliserbarhet er nære begreper. Generaliserbarhet er knyttet til gyldigheten av forskningen utover enhetene som forskes på (Tjora, 2017). Innen kvalitativ forskning handler generaliserbarhet om hvorvidt en teori kan benyttes for å forstå lignende enheter eller situasjoner.

I oppgaven er utelukkende prosjekter hos Skanska lagt til grunn for beregningen av avfallsproduksjon gjennom produksjonsfasen. Dette innebærer at studiens kvantitative resultat ikke nødvendigvis kan overføres til andre organisasjoner. I tillegg ble kun nybyggprosjekter benyttet i datagrunnlaget. Dette innebærer at studiens kvantitative resultat ikke nødvendigvis kan overføres til andre prosjekttypene, som rehabilitering og nybygg.

Jacobsen (2015) skiller mellom *ekstensiv* og *intensiv* forskningsdesign. Dette handler om hvorvidt forskningen gjøres i dybden, eller i bredden. Oppgavens kvalitative design kan i all hovedsak kategoriseres som intensiv; mange variabler undersøkes, med relativt få enheter. Styrken til intensive design er knyttet til generalisering på et teoretisk nivå, hvor teorien fremkommer gjennom det forskeren er blitt fortalt, har lest eller hørt (Jacobsen, 2015). De empiriske resultatene er ofte detaljerte og nyanserte, men basert på få enheter; derfor er generaliserbarheten typisk mindre. Ved triangulering kan ulike design kombineres; for eksempel kan dybdeintervjuer, intensive av natur, kombineres med spørreundersøkelser, som gjerne er av en mer ekstensiv art (Dalen, 2004). Jacobsen (2015) anbefaler å kombinere en intensiv studie med innledende, ekstensive arbeider. For denne oppgaven ble dette gjort ved å først gjennomføre en analyse av tilgjengelige kvantitative data, med en påfølgende spørreundersøkelse - og deretter benytte metoder av en intensiv karakter. En slik tilnærming kan, i følge Jacobsen (2015), bidra til både generaliserbarhet og relevans i en studie.

En såkalt *komparativ* tilnærming kan også bidra til økt generaliserbarhet i en studie (Jacobsen, 2015). Dette gjøres ved å sammenligne ulike enheter, eksempelvis ved å «teste» en teori på en enhet, på bakgrunn av en initiell undersøkelse av en annen enhet. Et komparativt design ble implementert i oppgaven ved å benytte et bredt utvalg informanter. Informantene er hentet fra ulike deler av prosjektets verdikjede, fra ulike aktører i bransjen, og fra fagmiljøer ved NTNU. Dette har vært et viktig poeng for å oppnå et bredt perspektiv i studien.

Ettersom arbeidet med oppgaven i utgangspunktet foregår over en relativt kort tidsperiode kan det argumenteres å bare gi et øyeblikksbilde av den faktiske situasjonen i bransjen, og dermed sees som en tverrsnittstudie. Dette kan redusere generaliserbarheten av resultatet.

3.10.4 Forskningsetiske retningslinjer

Jacobsen (2015) understreker viktigheten av at valgene som former forskningsprosessen må tas ut i fra forskningsetiske prinsipper. Etiske problemstillinger kan oppstå når forskningen direkte berører mennesker, og en forsker må derfor trå varsomt i en intervjusituasjon (Johannessen, 2016). Jacobsen (2015) presenterer tre grunnleggende krav for forskningsetikken, som omhandler forholdet mellom forsker og informant:

- Informert samtykke
- Krav til privatliv
- Krav på å bli korrekt gjengitt

De nasjonale forskningsetiske komiteene (2016) understreker også at forskeren skal respektere kravet om fritt og informert samtykke, og sikre personvernet til deltakerne. For å gjennomføre forskningen i henhold til disse prinsippene har en transparent prosess vært viktig. Før informantene endelig samtykket til deltakelse ble en prosjektbeskrivelse utstedt, sammen med en beskrivelse av hvordan deres informasjon ville bli behandlet, og hvordan øvrig gjennomføring av oppgaven ville foregå. Deretter ble en samtykkeavtale signert. Dette i henhold til regelverk fra Norsk senter for forskningsdata. I oppgaven er informantene holdt anonyme, og konkrete uttalelser eller erfaringer er ikke knyttet til bestemte informanter.

Tjora (2017) anbefaler å formidle forskningsresultatene tilbake til informanter etter endt studie; dette er en fin gest, en takk for hjelpen, og kan samtidig gi forskeren konstruktive tilbakemeldinger og refleksjon, og støtte i videre forskning.

4 Resultat

Kapittelet vil presentere funn etter analyse av data for avfallsmengder, spørreundersøkelsen distribuert blant ansvarlige for avfallshåndtering, semistrukturerte dybdeintervjuer og strukturerte intervjuer med utvalgte aktører i bransjen, supplert med funn fra øvrig datainnsamling. Resultatene vil presenteres med utgangspunkt i nevnte metoder.

4.1 Funn fra analyse av data for avfallsmengder

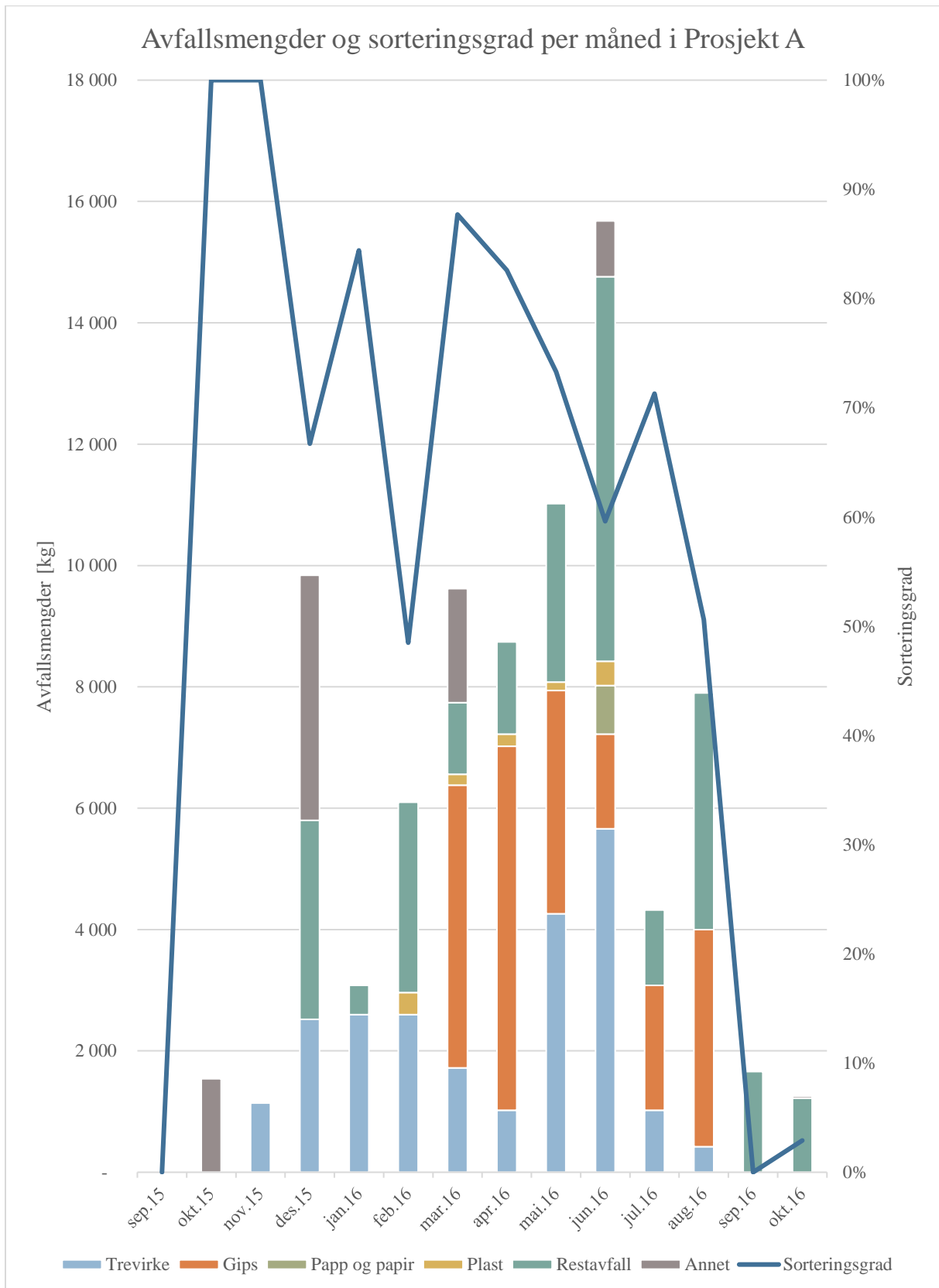
Sommeren 2017 startet arbeidet med innhenting av data knyttet til størrelsesordenen av avfallsproduksjonen i Skanskas prosjekter. Dataene ble deretter oppdatert fortløpende gjennom somrene 2018 og 2019, og senere fulgt opp, etter hvert som flere prosjekt ble ferdigstilt. Som nevnt innledningsvis er oppgavens fokusområde begrenset til nybygg, det er derfor data fra nybyggprosjekter som er lagt til grunn også i denne analysen.

For å forstå hvordan tiltakene kan implementeres mest mulig effektivt er det ønskelig å vite når i produksjonen de ulike fraksjonene oppstår, og hvordan sorteringsgraden varierer gjennom produksjonsfasen. For å begrense omfanget ble, som nevnt, ni prosjekter valgt for denne analysen. Disse ni ble valgt fra et utvalg som totalt bestod av 161 nybyggprosjekter. Avfallsmengdene for hver enkelt måned i hvert enkelt prosjekt ble identifisert, kategorisert og oppsummert, for å skape en oversikt over hvilke fraksjoner som oppstår i hvilke deler av produksjonsfasen. Det vil være naturlig å skille mellom når avfallet oppstår og når avfallet rapporteres, selv om det naturligvis er en sammenheng mellom de to.

Prosjektene er anonymiserte, og vil omtales som Prosjekt A til I.

I Prosjekt A rapporteres fraksjonen trevirke tidlig, og deretter helt frem mot siste del av produksjonen. Gips rapporteres mot siste halvdel av produksjonen, og deretter frem mot siste del av produksjonen. Papp og papir rapporteres kun i et veldig begrenset tidsrom. Plast rapporteres i midtre deler av produksjonen. Restavfall rapporteres tidlig, og deretter gjennom hele produksjonen. Sorteringsgraden er svært høy i tidlige stadier av produksjonen, og synker deretter ned mot overlevering. Avfallsrapporten for Prosjekt A er oppsummert i Figur 15.

Resultat

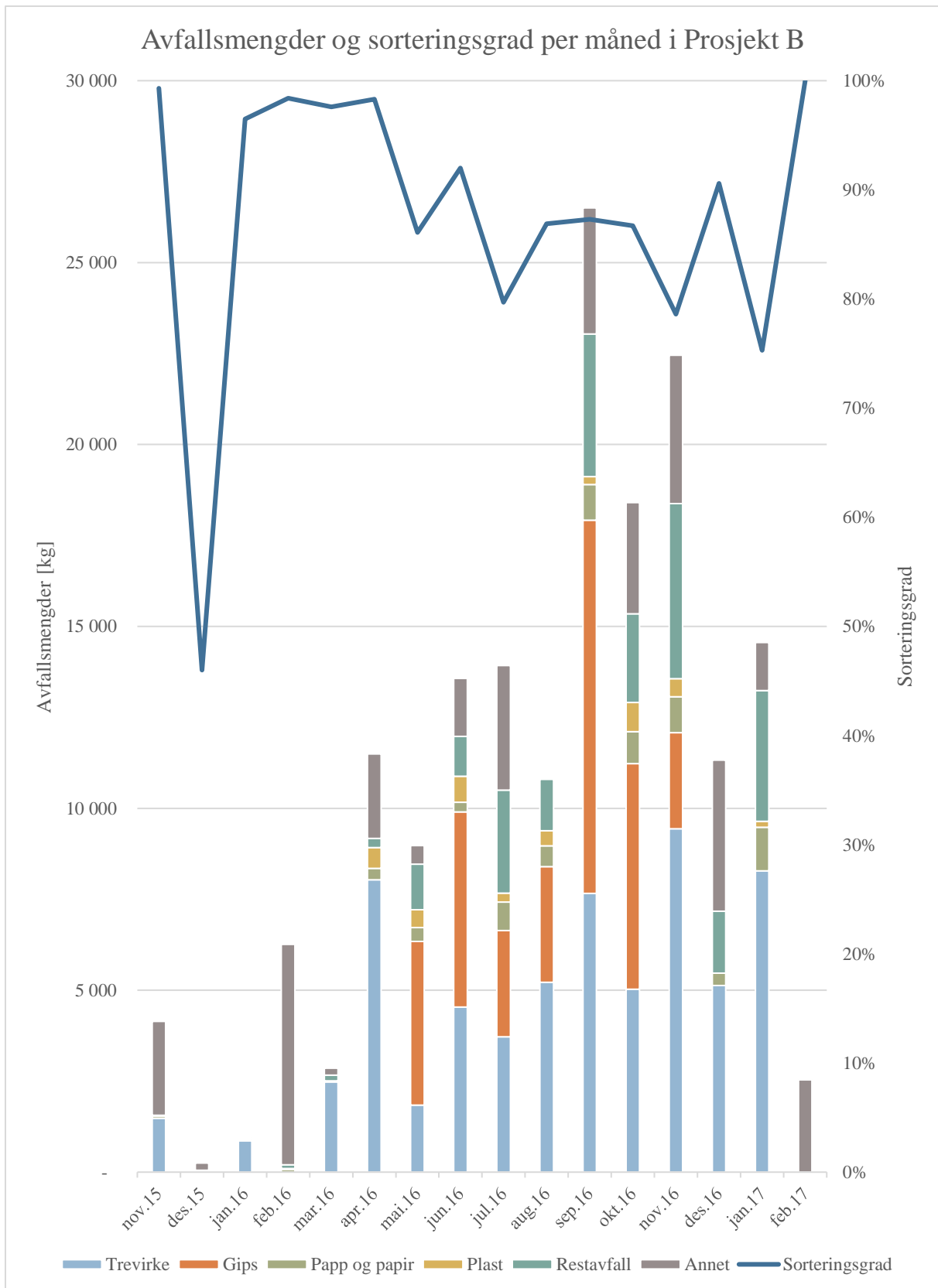


Figur 15: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt A.

Resultat

Prosjekt B rapporterer trevirke allerede i første måned med avfallslevering. Gips rapporteres mot siste halvdel av produksjonen, og deretter videre frem mot siste del av produksjonen; det samme gjelder papp og papir. I tillegg rapporteres papp og papir frem til nest siste måned med avfallslevering. Plast rapporteres i midtre deler av produksjonen, og frem til nest siste måned med avfallslevering. Restavfall rapporteres tidlig, og deretter frem til nest siste måned med avfallslevering. Sorteringsgraden er svært høy gjennom alle stadier av produksjonsfasen. Avfallsrapporten for Prosjekt B er oppsummert i Figur 16.

Resultat

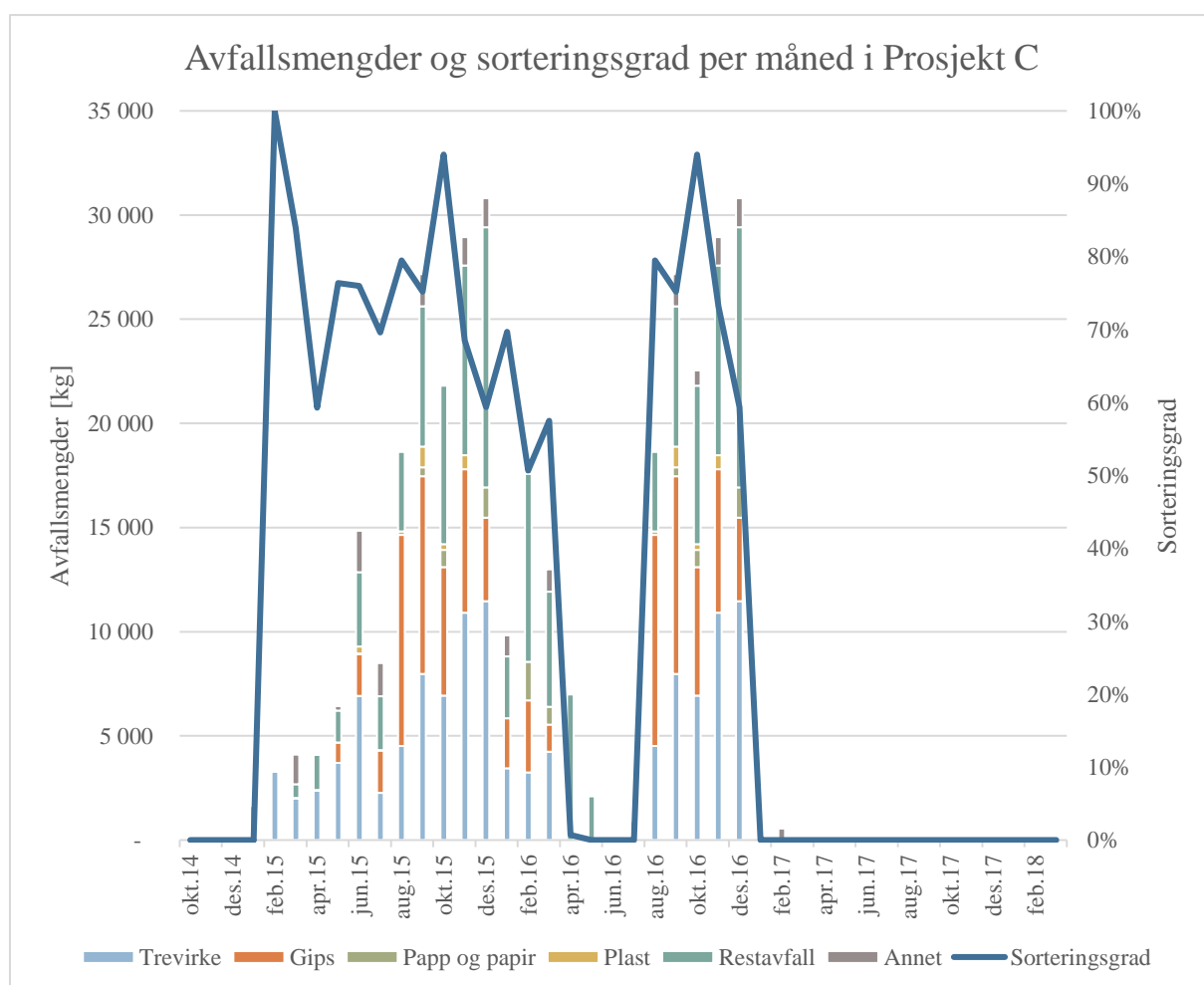


Figur 16: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt B.

Resultat

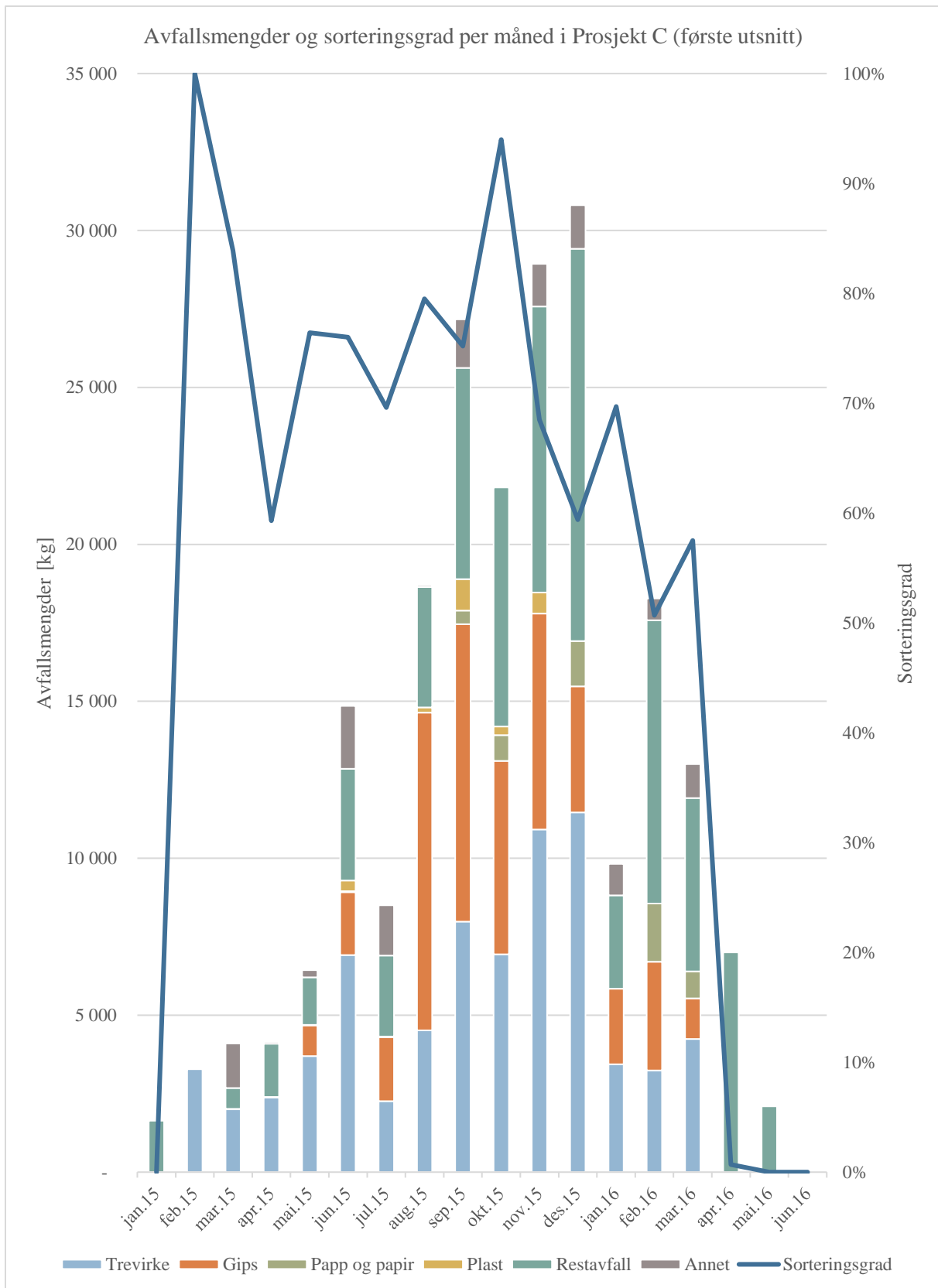
Rapporten for Prosjekt C er oppsummert i Figur 17. Leveringen av avfall i prosjektet er tydelig todelt. For å kunne analysere avfallsrapporten mest mulig presist vurderes det hensiktsmessig å se nærmere på hver av de to periodene. Utsnittet i Figur 18 viser første del av produksjonen, fra januar 2015 til juni 2016. Utsnittet i Figur 19 viser andre del av produksjonen, fra juli 2016 til februar 2017.

Trevirke rapporteres allerede i første måned med avfallslevering. Gips rapporteres mot siste halvdel av produksjonen, og deretter videre frem mot siste del av produksjonen; det samme gjelder papp og papir. I tillegg rapporteres papp og papir frem til nest siste måned med avfallslevering. Plast rapporteres i midtre deler av produksjonen. Restavfall rapporteres tidlig, og deretter gjennom hele produksjonen. Ingen avfallslevering er rapportert de siste tolv månedene av den registrerte produksjonsperioden. Sorteringsgraden varierer relativt mye gjennom produksjonen, og er, tilsynelatende, særlig lav mellom produksjonsperiodene.



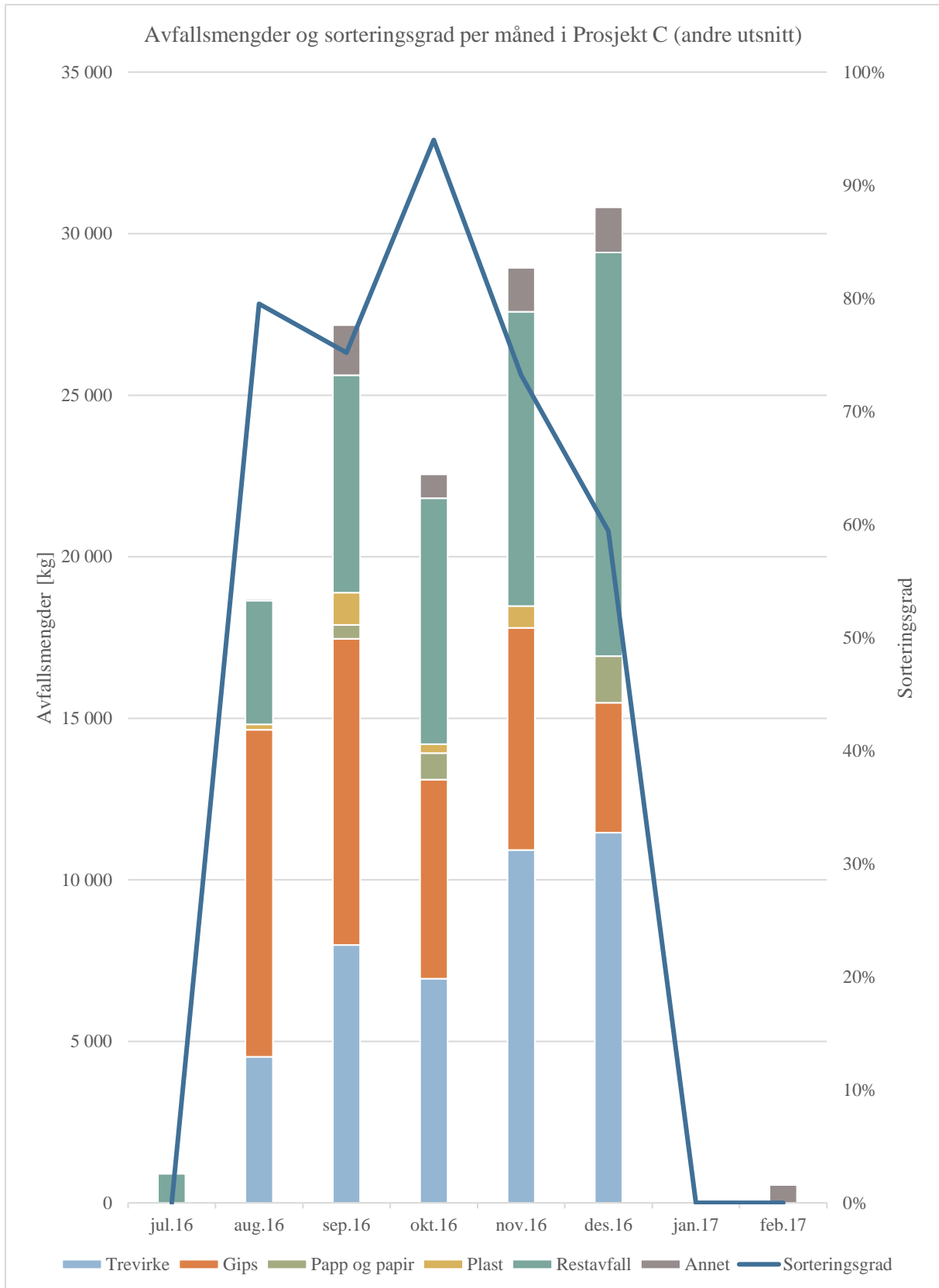
Figur 17: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt C.

Resultat



Figur 18: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt C, første utsnitt.

Resultat



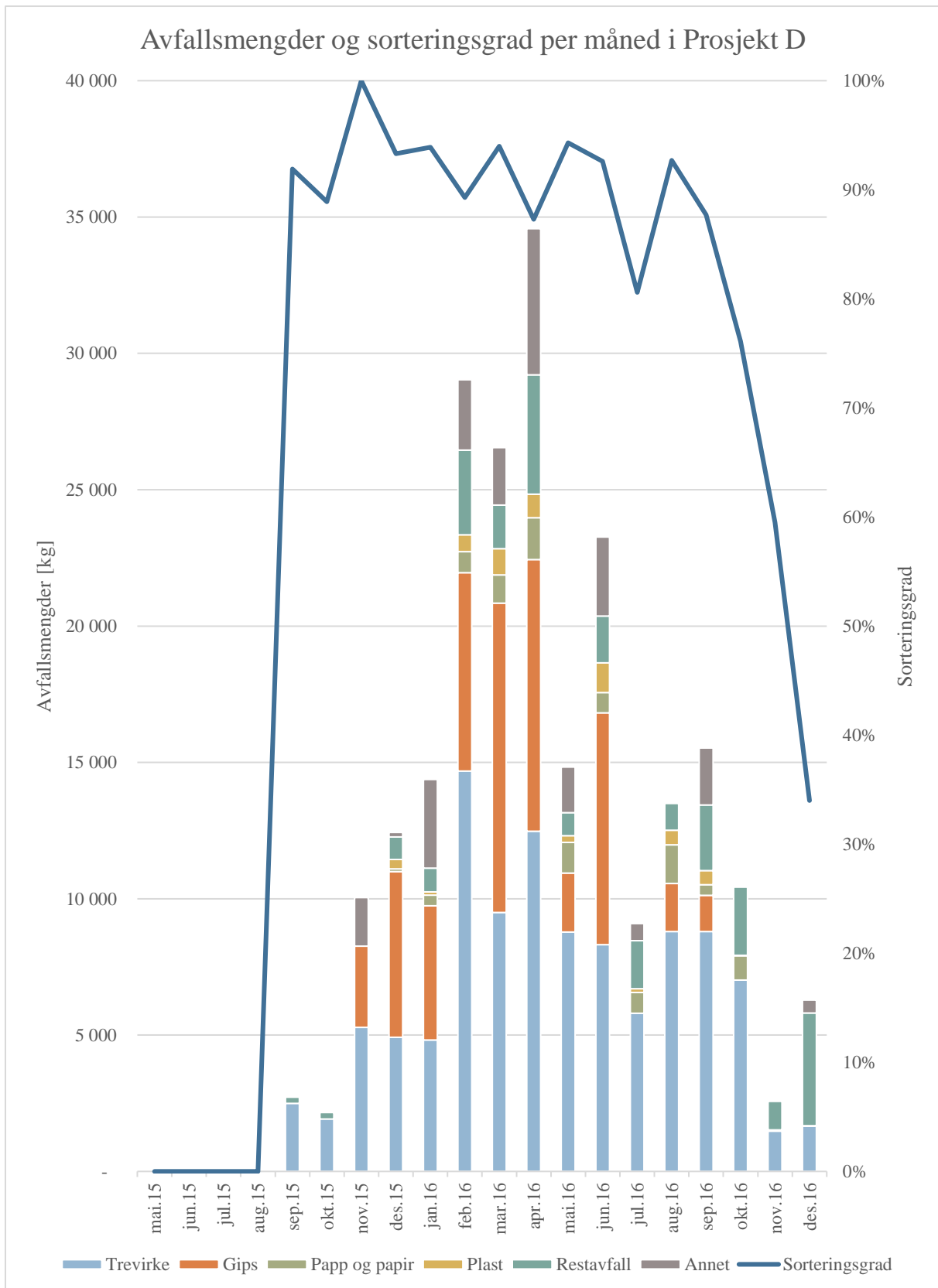
Figur 19: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt C, andre utsnitt.

Resultat

Prosjekt D rapporterer trevirke allerede i første måned med avfallslevering. Gips rapporteres allerede tidlig produksjonen, og deretter videre frem mot siste del av produksjonen; det samme gjelder papp og papir. Plast rapporteres i midtre deler av produksjonen, og frem til nest siste måned med avfallslevering. Restavfall rapporteres allerede i første måned, og deretter gjennom hele produksjonen. Sorteringsgraden er gjennomsnittlig svært høy gjennom hele produksjonen, med unntak av periodene med lavest rapportert avhending av avfall. Avfallsrapporten for Prosjekt D er illustrert i Figur 20.

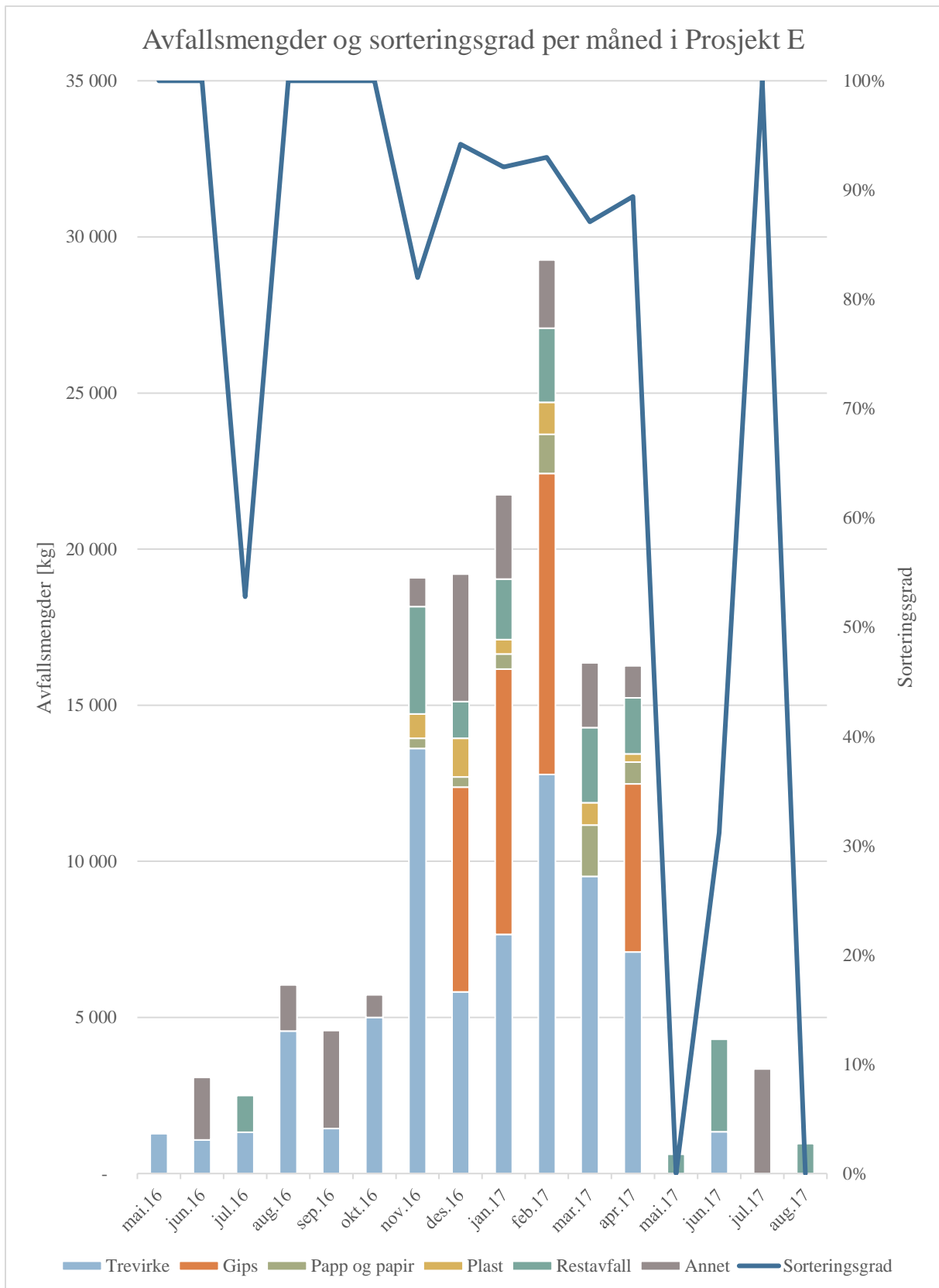
I Prosjekt E rapporteres trevirke, nok en gang, allerede i første måned med avfallslevering. Gips rapporteres, igjen, mot siste halvdel av produksjonen. Det samme gjelder papp og papir. Plast rapporteres i midtre deler av produksjonen, og frem til nest siste måned med avfallslevering. Restavfall rapporteres tidlig, og deretter sporadisk frem til siste måned med avfallslevering. Igjen er sorteringsgraden gjennomsnittlig svært høy, med en tydelig uteligger i mai 2017. Avfallsrapporten for Prosjekt E er oppsummert i Figur 21.

Resultat



Figur 20: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt D.

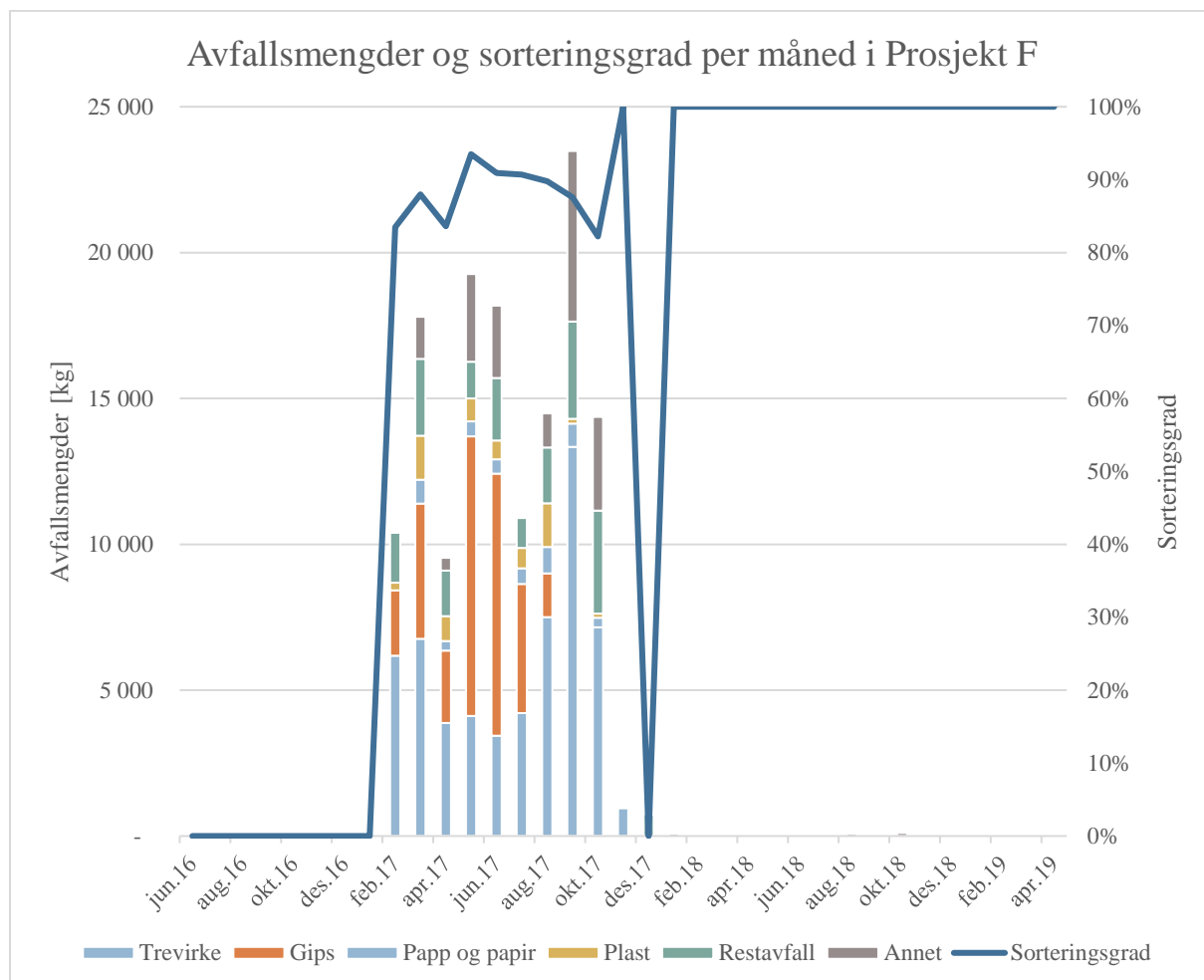
Resultat



Figur 21: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt E.

Resultat

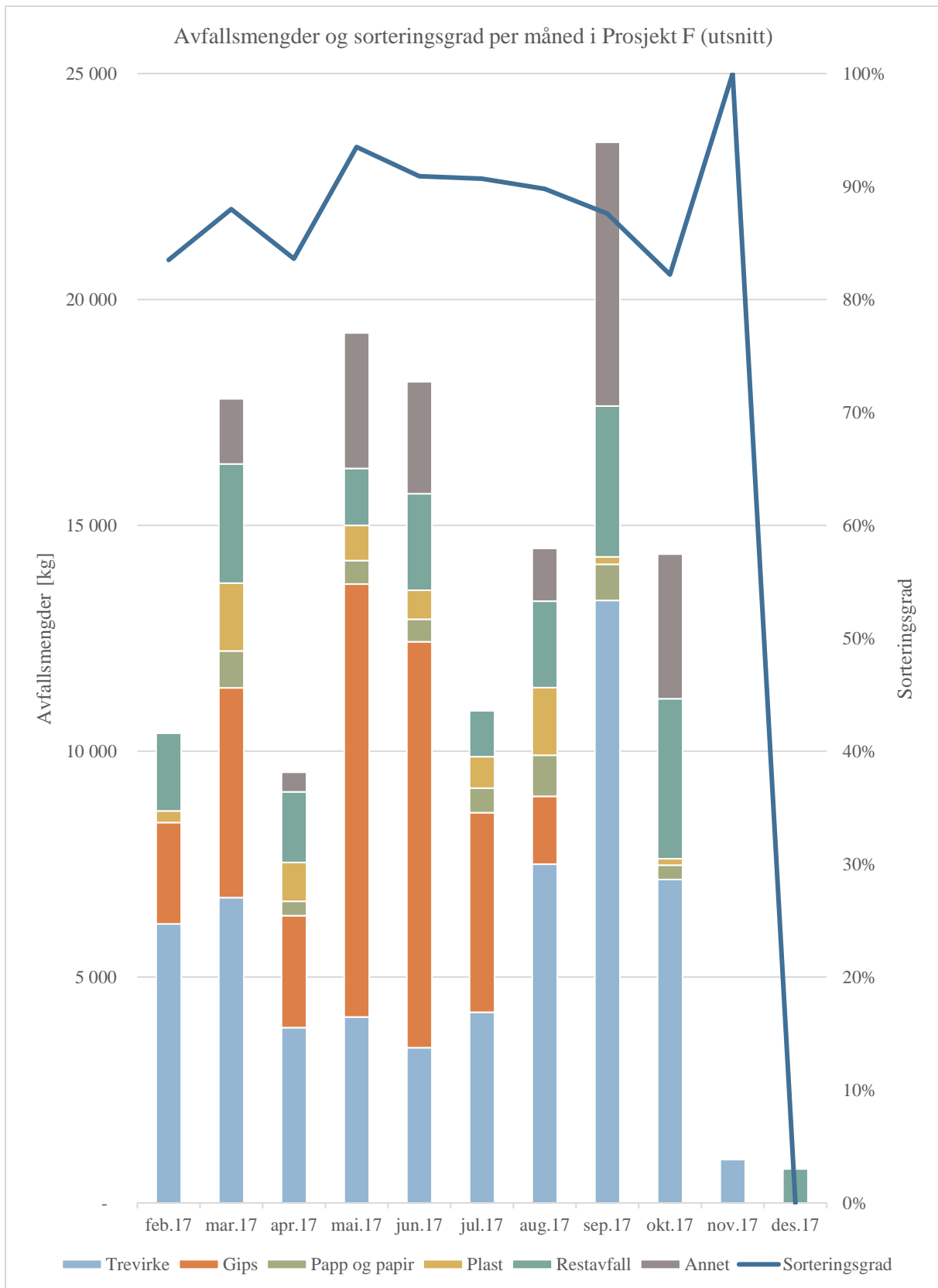
Fra Figur 22 fremkommer det at avfall, tilsynelatende, kun avhendes i omtrent halvparten av alle registrerte måneder for Prosjekt F. Det ansees derfor hensiktsmessig å vurdere et nærmere utsnitt av avfallsmengder og sorteringsgrad for prosjektet, illustrert i Figur 23.



Figur 22: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt F.

Prosjekt F rapporterer trevirke allerede i første måned med avfallslevering. Gips rapporteres tidlig, og deretter frem mot siste halvdel av produksjonen; det samme gjelder papp og papir. I tillegg rapporteres papp og papir frem til nest siste måned med levering. Plast rapporteres gjennom alle deler av produksjonen, med unntak av siste måned med rapportert avhending. Restavfall rapporteres fra første måned, og deretter frem til nest siste måned med avhending. Sorteringsgraden er svært høy gjennom hele produksjonen, frem til siste måned.

Resultat



Figur 23: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt F, utsnitt.

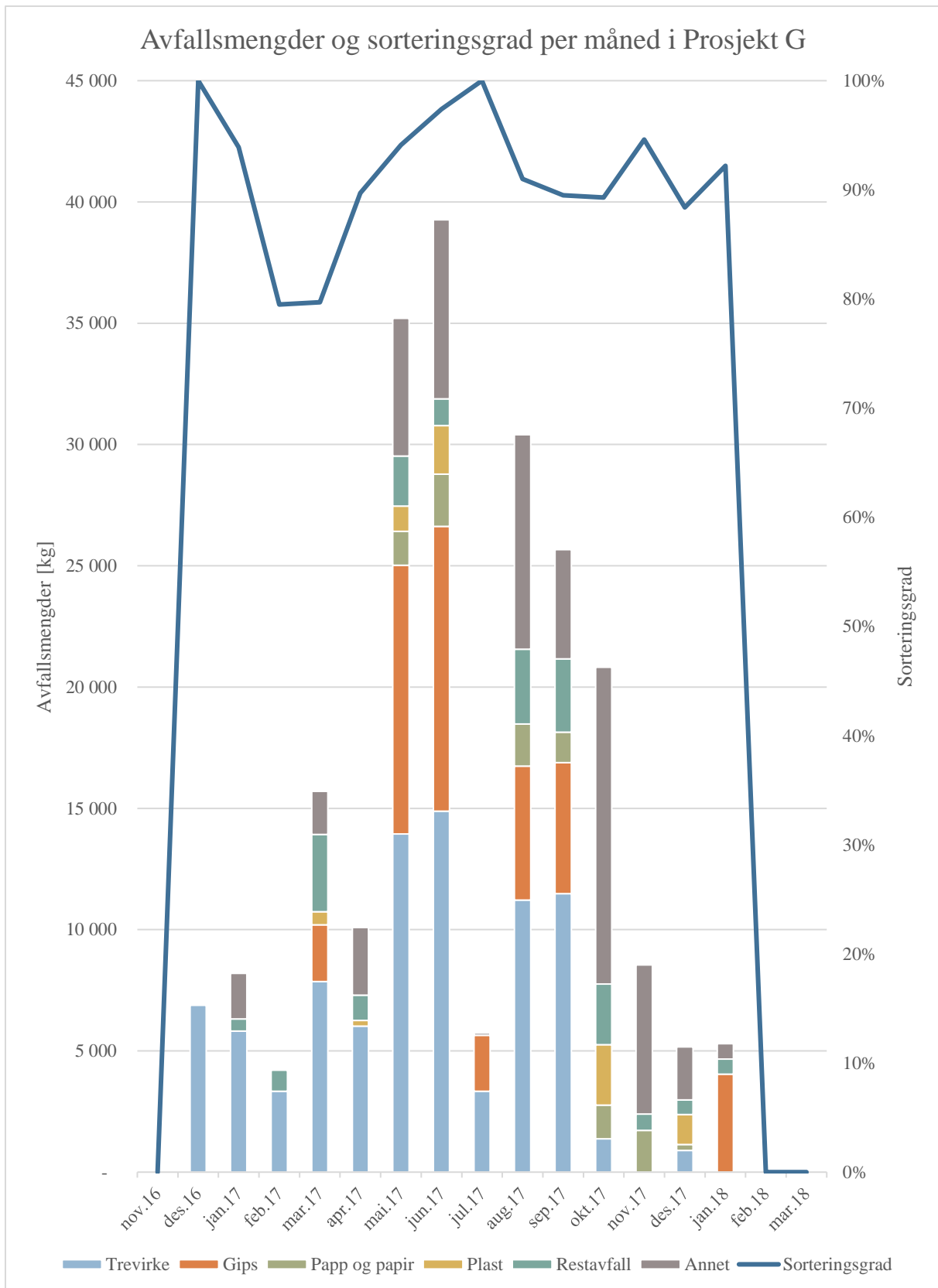
Resultat

Som ovennevnte prosjekter, rapporterer også Prosjekt G trevirke allerede i første måned med avfallslevering. Gips rapporteres tidlig, og deretter sporadisk frem mot siste del av produksjon. Det samme gjelder papp og papir, men denne fraksjonen rapporteres først noe senere. Plast rapporteres fra en fjerdedel inn i produksjonen, og frem til nest siste måned med avfallslevering. Restavfall rapporteres tidlig, og deretter frem til siste måned med rapportert avfallslevering. Sorteringsgraden er jevnt høy gjennom produksjonen, med lavere rapportert sortering i oppstart og avslutning. Avfallsrapporten for Prosjekt G er oppsummert i Figur 24.

Også Prosjekt H rapporterer trevirke allerede i første måned med avfallslevering. Gips rapporteres puljevis, først en fjerdedel inn i produksjonen, deretter halvveis. Papp og papir rapporteres tidlig i andre halvdel av produksjonen. Plast rapporteres sporadisk gjennom produksjonen, allerede fra andre måned med avfallslevering. Restavfall rapporteres fra første til siste måned med levering. Sorteringsgraden begynner høyt etter oppstart, men synker mot senere deler av produksjonen. Avfallsrapporten for Prosjekt H er oppsummert i Figur 25.

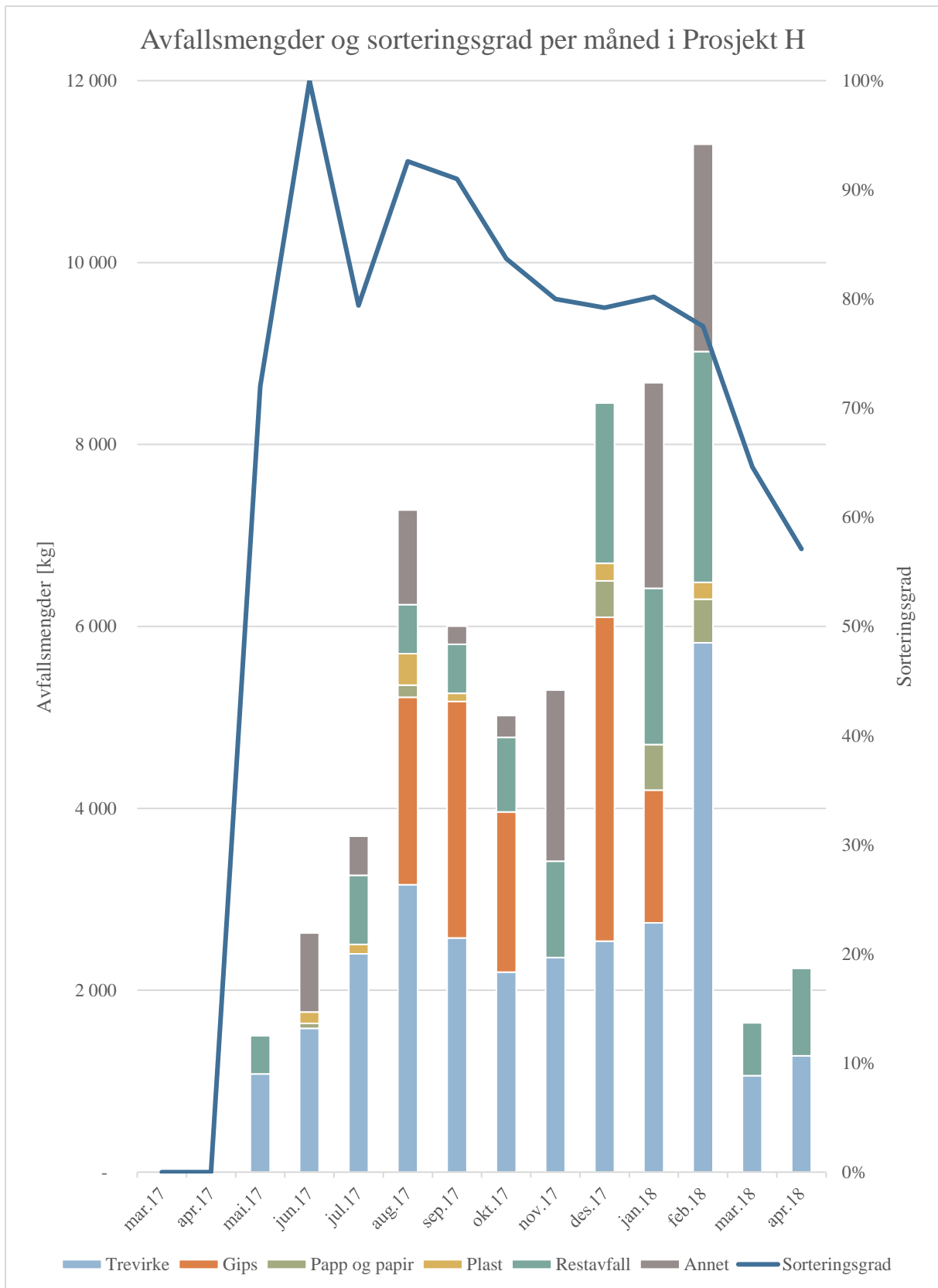
Prosjekt I rapporterer, i likhet med andre prosjekter, trevirke allerede fra første måned med rapportert levering. Gips rapporteres omtrent en tredel inn i produksjonen, og deretter videre frem mot siste del av produksjonen. Papp og papir rapporteres gjennomgående i andre halvdel. Plast rapporteres fra midtre deler av produksjonen, og frem til nest siste måned med rapportert levering. Restavfall rapporteres, igjen, fra første til siste måned med levering. Sorteringsgraden er jevnt høy i alle stadier med rapportert avhending av avfall, med unntak av to uteliggere; en mindre i april 2017, og en større i juli 2017. Dette er måneder med en større andel restavfall avhendet. Avfallsrapporten for Prosjekt I er oppsummert i Figur 26.

Resultat



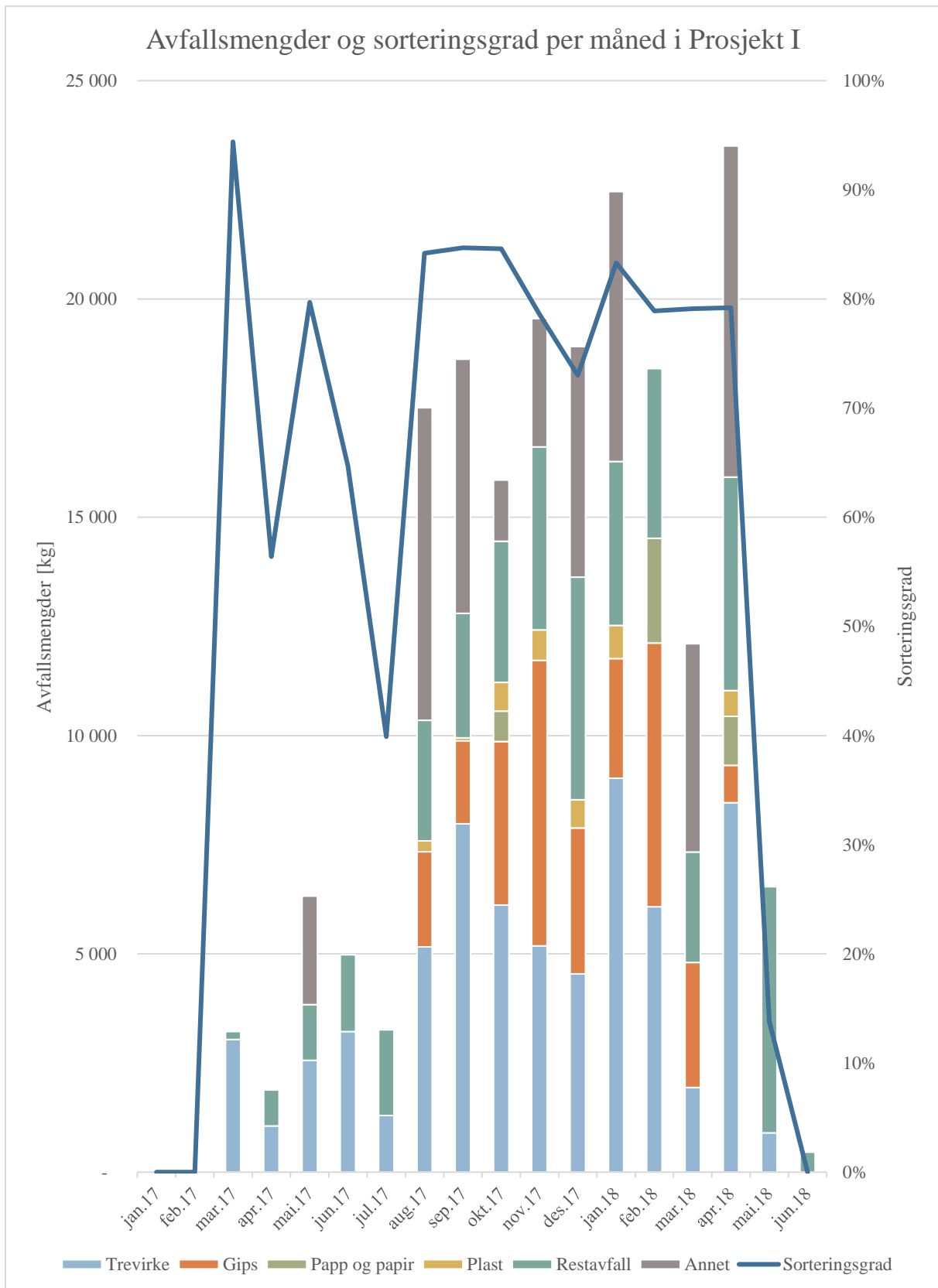
Figur 24: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt G.

Resultat



Figur 25: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt H.

Resultat



Figur 26: Avfallsmengder og sorteringsgrad per måned i Prosjekt I.

4.2 Funn fra spørreundersøkelse

Spørreundersøkelsen ble, som nevnt i Kapittel 3.4, distribuert til 105 HMS-ansvarlige og ansvarlige for avfallshåndtering i Skanskas prosjekter. Som antydnet i Vedlegg A var en vesentlig andel av spørsmålene formulert slik at respondentene selv kunne forme sitt svar, og nevne så mange eller få konkrete eksempler som de selv ønsket. Resultatene fra spørreundersøkelsen er anonymisert, oppsummert og gjengitt i Vedlegg B.

Fraksjonene som ble identifisert som størst eller mest problematiske var trevirke, gips, emballasje, i form av både papp og papir og plast, samt restavfall.

Respondentene trakk frem tømrerarbeid, forskaling, leveranser og riggarbeid som de mest vesentlige kildene til avfall i form av trevirke; samtlige respondenter mente at enten tømrerarbeid, forskaling eller riggarbeid var kildene til avfall i form av trelast. Hva muligheter for reduksjon av trevirke-fraksjonen angår, så oppfatningen blant respondentene ut til å være at pre-fab, gjenbruk av paller, samt alternative tilnærminger til rigg og forskaling hadde størst potensial. Tømrerarbeid, samt produksjon av ytter- og innervegger ble fremhevet som de største kildene til avfall i form av gips. Pre-fab var den klare favoritten for reduksjon av fraksjonen gips, etterfulgt av fokus på logistikk og opplæring.

Leveransene som medfører mest emballasje ble identifisert som innredning, vindu og dører, kjøkken, VVS og elektrisk utstyr. For å redusere mengden emballasje på byggeplassen hadde respondentene mest tro på returordninger, og samling av leveranser. Tildekking av gulv ble nevnt spesielt som en kilde til pappavfall. Ved oppfølgingsspørsmål ble lagring av papp for senere ombruk av emballasje som dekke nevnt som et tiltak for å redusere fraksjonen papp. Blant øvrige tiltak for avfallsreduksjon på byggeplassen ble særlig pre-fab, bevisstgjøring, målsettinger med bonus-malus, samt kontraktsfestede krav trukket frem.

4.3 Funn fra dybdeintervjuer og intervjuer per mail

Gjennomførte intervjuer bekrefter resultatet fra kvantitative analyser, og samtlige informanter peker på enten trevirke, gips, papp og papir, plast eller restavfall som problematiske fraksjoner. Flere presiserer at fraksjonen trevirke er problematisk grunnet total mengde, mens høye svinnprosent oppleves som problemet for fraksjonen gips. Avfall i form av trevirke rapporteres gjennom store deler av produksjonen, og gips i forbindelse med kledning. Avfall i form av papp og papir oppleves i hovedsak i forbindelse med levering av mindre elementer og deler, som ved innredning. Det samme beskrives å gjelde plast. Store mengder restavfall oppfattes i mange tilfeller unødvendig, og flere informanter mener at dette først og fremst skyldes manglende lyst, motivasjon eller opplæring knyttet til avfallshåndtering.

Flertallet av informantene trekker frem målsettinger som viktig for å skape engasjement og endringsvilje blant alle aktører. Et intervjuobjekt mener at målsettinger kan bli særlig verdifulle dersom ordninger etableres med utgangspunkt i disse målene; som eksempel nevnes insentivordninger med bonus-malus for alle aktører. En annen informant peker på at effekten av et slik tiltak gjerne vil være større dess tidligere det implementeres. For å kunne følge opp definerte målsettinger trekkes måling og rapportering frem som særlig nyttig.

En generell oppfatning blant informantene ser ut til å være at det ligger stor verdi i å tidlig etablere kontakt med alle involverte aktører i prosjektet. En informant foreslår å gjennomføre et oppstartsmøte med alle involverte på prosjektet, medarbeidere, underentreprenører og leverandører. Her trekkes en felles gjennomgang av avfallsplanen for prosjektet frem som særlig nyttig. En annen informant peker spesielt på muligheten et eventuelt oppstartsmøte utgjør som en arena for en åpen og tydelig forventningsavklaring. Som eksempler nevner informantene både etablering av plan for ressursoptimalisering, og avklaring av rutiner. Manglende planer for avfallshåndtering fører til uregelmessig håndtering mellom aktører, mener et intervjuobjekt. Det samme intervjuobjektet uttrykker bekymring over at involverte i prosjektet ofte kan ha ulike forventninger og prioriteringer hva avfall angår. Uferdige og upresise kontrakter trekkes frem som problematisk, og et intervjuobjekt bemerker at dette åpner for misforståelser og ulike forventningsnivå blant de involverte aktørene.

Resultat

De fleste informantene nevner bruk av pre-kapp, pre-fab eller modulære løsninger som aktuelle tiltak. Informantenes resonnement peker først og fremst mot reduksjon av avfall i form av kapp, særlig for trevirke og gips. Flere nevner samtidig at økt bruk av slike løsninger sannsynligvis vil medføre mer emballasje på byggeplassen, og at kapp fremdeles vil oppstå på fabrikkens elementene produseres.

En informant legger særlig vekt på forskjellen mellom å hindre at avfall oppstår, og tiltak for å nyttiggjøre ressursene på byggeplassen når avfall allerede har oppstått. Andre informanter argumenterer tilsvarende for at enkelte tiltak vil kunne redusere avfallsmengden på byggeplassen, men ikke i et helhetsperspektiv. Informantene trekker frem løsninger hvor leverandør tar med emballasje tilbake fra byggeplassen som et eksempel på dette. Et annet eksempel som nevnes er bruk av lukkede containere heller enn åpne. Fuktig avfall veier mer enn tørt avfall, og vil derfor veies inn som en større avfallsmengde enn volumet skulle tilsi. Økt sorteringsgrad nevnes i samme kategori. Et intervjuobjekt reflekterer omkring påvirkningen sorteringsgraden har på fraksjonen restavfall, men at gevinsten er liten i det store bildet dersom de samme avfallsmengdene likevel ligger i andre containere.

På en annen side ønsker enkelte informanter å trekke frem de positive konsekvensene ved økt sorteringsgrad. Restavfall er en dyr fraksjon å avhende, og å minimere denne vil derfor gi økonomiske gevinster i prosjektet. Et intervjuobjekt hadde hatt god erfaring med å utelate containere for restavfall på byggeplassen. Kombinert med tett oppfølging av avfallsstasjonen hadde dette tiltaket gitt gode resultater på sorteringsgraden. En annen informant påpeker viktigheten av tydelig merking av containere. Dette er en viktig forutsetning for å unngå feilsortering som følge av misforståelser. Informanten opplevde at misforståelser kunne oppstå både som følge av språkbarrierer og underkommuniserte rutiner. Gjennom intervjuene fremkommer også opplevd viktighet av en ryddig og tilgjengelig avfallsstasjon. Flere intervjuobjekter nevner tilgjengelighet som viktig, særlig med tanke på sortering, og påfølgende reduksjon av fraksjonen restavfall. Det bør være like enkelt å sortere avfallet som å ikke gjøre det. Her nevner informanter spesielt kort avstand fra produksjonssted til avfallsbeholdere, og tilstrekkelige tilgjengelige containere for hver fraksjon.

Oppfatningen blant informantene ser ut til å være at emballasje er problematisk å ombruke på byggeplass. Det vil derfor være ønskelig å redusere mengden emballasje som ankommer byggeplassen. Flere foreslår derfor å inngå en avtale med leverandør for færre og større

Resultat

forsendelser; dette for å redusere emballasje i form av både papp og papir, og plast. Et intervjuobjekt foreslår en avtale med leverandør hvor plastemballasje byttes ut med alternative materialer; materialer som kan benyttes mer enn én gang, og derfor er mer egnet for ombruk. Eksempler som nevnes er tøy eller duker som ikke går i oppløsning.

Gjennom intervjuer fremkommer det at endringsmotstand oppleves som et stort problem på byggeplassen. Flere intervjuobjekter foreslår en kombinasjon av holdningsarbeid og opplæring, for å både skape økt forståelse og engasjement blant involverte aktører. Nesten alle informantene trekker frem bevisstgjøring i hele verdikjeden som viktig for å nå ambisiøse mål for avfall. Flere har opplevd både manglende forståelse og motivasjon i flere nivå av prosjektorganisasjonen, og understreker derfor viktigheten av denne innsatsen. Et intervjuobjekt nevner visualisering av avfallsmengdene som oppstår som et mulig ledd i arbeidet mot økt forståelse av avfallsproduksjonens omfang. En kulturendring oppleves nødvendig for å skape indre motivasjon utover ytre økonomiske insentiver.

Muligheten digitale løsninger utgjør nevnes i flere intervjuer, og flere nevner BIM som et spesielt nyttig verktøy. Flere anbefaler økt bruk av digitale verktøy for å muliggjøre bestilling av mer nøyaktige mengder materiale. En informant nevner at dette til en viss grad gjøres i dag, men antar at tiltaket vil kreve ytterligere oppfølging for å gi større gevinster. For bruk av kunstig intelligens nevnes BIM som en potensiell plattform for øvrige verktøy.

Bestilling av varer kan være problematisk, i følge flere av informantene. De ønsker ikke å bestille for store kvantum, for å unngå unødvendig lagring av materialer og elementer på byggeplass, men de ønsker heller ikke å bestille for små kvantum, slik at produksjonen må vente. I forbindelse med levering av varer nevnes utilstrekkelig beskyttelse av varene, og ineffektive rutiner for lossing som uheldig. Skader på materialer og elementer under transport trekkes også frem, selv om en informant mener at dette ikke skjer for ofte. Forflytning av større mengder materialer og elementer omkring på byggeplassen ser flere informanter som problematisk. Dette åpner for flere skader på materialene, og at tid går tapt til aktiviteter som ikke skaper verdi. Oppbevaring av materialer på byggeplass oppleves å gi økt sannsynlighet for at materialene blir skadd. En informant mener at dette kan skyldes manglende plass til lagring. En annen nevner frakt av materialer internt på byggeplass som spesielt problematisk. Manglende overvåking av materialer som ankommer byggeplassen, samt manglende

Resultat

overvåkning av avfallsstasjoner og avfallshåndteringen underveis nevnes som en mulig bidragsyter til svinn av materialer, grunnet forringelse av varer eller feil ved avhending.

En informant peker på at materialer på byggeplassen kan forringes som følge av forhold som prosjektene selv ikke rår over. Informanten nevner blant annet vær, vandalisme og tyveri. Andre mener materialer kan forringes grunnet uhell som følge av forsømmelse, bevisst eller ubevisst. De forklarer at dette kan skje grunnet manglende konsentrasjon eller kompetanse; eller grunnet spesielle situasjoner som oppstår på byggeplassen, utenfor arbeiderens kontroll.

En informant spekulerer i om en dedikert person med ansvar for avfallshåndtering og styring kan være en løsning, og supplerer med at en ansvarlig også vil kunne følge opp andre aspekter ved avfallshåndteringen - i større grad enn det prosjektene har kapasitet til i dag.

Rigg identifiseres som et problemområde av flere informanter. Et prosjekt hadde opplevd god effekt av å låne eller leie elementer som ikke kunne gjenbrukes. Dette gjaldt særlig elementer som tradisjonelt monteres i tre på byggeplassen; typisk forskaling, rigg og støttestrukturer. Et annet prosjekt hadde funnet en effektiv løsning i montering for demontering. Dette gjorde at arbeiderne kunne demontere en rigg fra én del av prosjektet, og flytte den over til neste nødvendige område, hvor den kunne monteres igjen. Blant løsningene de hadde benyttet var å benytte skruer heller enn spiker ved montasje.

Insentivordninger som belønner flinke aktører og bøtelegger skjødesløse aktører er et tiltak flere informanter har tro på. En informant foreslår at en slik ordning benyttes til å premiere tiltak for innovasjon og nyskaping innen avfallsreduksjon. En informant reflekterer omkring hvorvidt målprisordninger som benyttes i samspillsentreprisen kan utvides til å gjelde avfall, og at bonus-malus herfra kan tildeles i henhold til forhåndsdefinerte krav - eksempelvis basert på tiltak for avfallsreduksjon. Fagarbeidere og håndverkere som ellers arbeidet på akkordlønn kan særlig dra nytte av en slik ordning.

For implementering av en slik ordning anbefaler en informant å definere hensiktsmessige indikatorer for ytelse som bonus-malus skal beregnes fra. Disse foreslås bestemt ut i fra felles fastsatte krav for prosjektet. Relevante indikatorer foreslått er kg avfall per kvm, kg avfall per kr omsatt, kg avfall per aktør eller kg avfall per fase av prosjektet. Flere understreker viktigheten av at hele verdikjeden inkluderes i utviklingen av gode systemer for reduksjon av avfall, slik at

Resultat

alle kan tilpasse sin funksjon til tenkt avfallsreduksjon. En transparent prosess nevnes også som et viktig ledd for bevisstgjøring og motivasjon av alle involverte.

En informant kommenterer at bransjen har vært god på samarbeid med sikkerhet, og stiller spørsmålsteget ved hvorfor bransjen ikke er like god til å samarbeide med miljø. Det er ønskelig at aktører i bransjen skal samarbeide på tvers av virksomheter for å oppnå gode og helhetlige løsninger, men det blir også tydelig at det kan ligge konkurransefortrinn i gode, grønne løsninger. Et annet intervjuobjekt reflekterer omkring gevinsten miljø-satsingen faktisk kan gi for sikkerheten til arbeiderne på byggeplassen. Flere mener at en avfallsfri byggeplass vil være en ryddig byggeplass, og en informant spekulerer i hvorvidt satsingen kan bidra til en sikrere arbeidsplass.

Flere understreker betydningen av de tidligere fasene for avfallsproduksjon på byggeplassen. Særlig fremheves design av bygget. En informant nevner sene endringer i design som en av hovedårsakene til at prosesser og aktiviteter må gjentas, eller materialer forkastes. Dette kan skje som følge av sen informasjon, eller sene endringsønsker fra kunden. En annen nevner komplekse design, som ser fine ut på tegninger og modeller, men som viser seg vanskelige å tilvirke i praksis. Videre trekkes uklare eller tvetydige instruksjoner og spesifikasjoner frem som problematisk. En tredje informant forteller om feil eller mangler i mottatte tegninger. Flere reflekterer omkring hvorvidt det vil være mulig å eliminere avfall fra prosesser og aktiviteter på byggeplassen uten å først revurdere prosesser og aktiviteter som skjer ved konseptutvikling og prosjektering. En informant foreslår at bygg designes for å passe til standard størrelser, eksempelvis for planker og gipsplater.

Gjennomførte intervjuer illustrerer en manglende felles forståelse og terminologi, særlig knyttet til enkelte teknologier og teknikker, innen informasjonsteknologi generelt, og kunstig intelligens spesielt. Nettopp dette påpeker også flere informanter, som trekker frem behovet for en samlet og entydig terminologi for effektiv kommunikasjon.

En generell oppfatning ser ut til å være at det ligger et betydelig potensial i å utnytte kunstig intelligens i byggeprosjekter og på byggeplassen, men kun to intervjuobjekter kunne peke på konkrete eksempler på at dette ble gjort i større skala i praksis. Likevel nevner samtlige informanter en forventning om økt produktivitet, økt kvalitet og besparelser i tid og kostnad.

Resultat

Et intervjuobjekt nevner flere andre bransjer, deriblant prosessindustri og annen fabrikkbasert produksjon, som gode eksempler på implementering av kunstig intelligens for effektivisering av eksisterende løsninger. Det samme intervjuobjektet peker imidlertid på flere vesentlige forskjeller mellom masseproduksjon i fabrikklokaler og produksjon på en byggeplass; særlig gir graden av standardisering, fysisk plassering og lokalisering, samt faste produksjonslinjer mot midlertidige prosjektorganisasjoner grunnleggende ulike forutsetninger.

Samtidig stiller enkelte seg skeptiske til økt bruk av kunstig intelligens. Blant barrierer for bruk av kunstig intelligens nevnes tilstrekkelige mengder data, og data av tilstrekkelig kvalitet. Et intervjuobjekt kommenterer at det kan være problematisk å samle inn relevante data i byggebransjen, ettersom hvert prosjekt er unikt, og data samlet i ett prosjekt ikke nødvendigvis kan overføres til et annet. Andre barrierer som trekkes frem er design av systemer som er forståelige for brukerne. Ikke alle involverte i et prosjekt har inngående kjennskap og kunnskap hverken til eksisterende digitale verktøy, og heller ikke kunstig intelligens.

Flere spekulerer omkring hvordan kunstig intelligens vil påvirke dagens arbeidsoppgaver og arbeidsflyt. En informant mistenker at kunstig intelligens vil føre til redusert behov for menneskelig arbeidskraft på visse områder. For enkelte områder forventes kunstig intelligens gjøre menneskelig arbeidskraft overflødig. På en annen side ønsker samme informant å trekke frem behovet for å involvere menneskene i utviklingen av systemer og verktøy. Kunstig intelligens kan være avhengig av input fra mennesker med erfaring og kompetanse innen gitte felt, for å kunne bygge systemene så effektive og hensiktsmessige som mulig.

Videre trekkes tillit mellom involverte mennesker og teknologi frem som avgjørende. Dersom menneskene ikke stoler på teknologien, vil dette kunne føre til at de bruker tid og ressurser på å gå over arbeidet maskinene gjør; dette vil virke mot sin hensikt. Hvilken påvirkning kunstig intelligens vil ha på kulturen på byggeplassen er et spørsmål flere intervjuobjekter stiller. Å interagere med andre mennesker med holdninger, følelser og personlighet oppleves som en sentral del av arbeidsdagen for arbeiderne på byggeplassen. Dersom for mange menneskelige funksjoner erstattes av kunstig intelligens risikerer arbeidsmiljøet å lide som en konsekvens.

Et intervjuobjekt er særlig interessert i potensialet som ligger i teknologier som VR og AR. Blant relevante bruksområder nevnes visninger og befaringer i bygg, kommunikasjon og samarbeid blant aktørene i prosjektet, forberedelse og trening på konkrete arbeidsoppgaver og

Resultat

muligheten for konsulenter og spesialister til å assistere montører «på byggeplassen». Tradisjonelt benytter VR og AR datasyn. Ved maskinlæring vil miljøet kunne skille mellom vertikale og horisontale plan, estimere dybde og avstand i det virtuelle rommet, og åpne for at brukeren kan interagere med omgivelsene i sanntid. En informant nevner programvaren *Unity Reflect*, som åpner for at designere kan utvikle og utforske modeller og bygg i sanntid ved hjelp av AR og VR. *Imerso* nevnes som en innovativ aktør, som tilbyr en plattform basert på kunstig intelligens for støtte i bygging og oppfølging av en *digital tvilling* for prosjektet. *Doxel* nevnes også, og er et verktøy basert på kunstig intelligens og datasyn, som utnytter autonome roboter til inspeksjon og oppfølging av fremdrift i prosjektet. Systemet kan følge opp både kostnad, tid og kvalitet i produksjonen. Flere intervjuobjekter nevner *ALICE*. Systemet er basert på kunstig intelligens, og blant aktuelle bruksområder nevnes støtte i design i henhold til gjeldende regelverk og begrensninger, optimalisering av byggbarhet og simulering av ulike alternativer og scenarier.

Uttalelser tyder på at digitalisering av data er relativt enkelt. Som et eksempel på ny utnyttelse av tilgjengelige data nevnes *Maxbo Proff BEAst Label*. Dette er en etikett som inneholder en strekkode med informasjon på alle detaljnivå: fra prosjektets adresse, til bygning, leilighet og helt ned til plassering i rommet. Dette er ett av flere eksempler på at bransjen stadig adopterer flere digitale løsninger. Flere intervjuobjekter reflekterer omkring økt digitalisering som et viktig utgangspunkt for bruk av kunstig intelligens. Selv om økt digitalisering, rent teknologisk, ikke oppleves som en stor utfordring, mener en informant at utfordringen kan ligge i å nyttiggjøre aktuelle data på en god måte.

Flertallet nevner selve implementeringen av kunstig intelligens som særlig viktig. I forbindelse med implementeringen anbefales det å særlig fokusere på opplæring av alle aktørene som skal samhandle med kunstig intelligente systemer. Samspillet mellom prosess, menneske og teknologi trekkes frem som sentralt. Et intervjuobjekt peker også på viktigheten av å arbeide holdningsfremmende og målrettet mot både indre og ytre motivasjon, i forkant av, og underveis i implementeringen.

En av de viktigste forutsetningene for en vellykket implementering av kunstig intelligens identifiseres som brukervennlighet; at teknikkene med sine bruksområder er brukervennlige for menneskene som skal utnytte og interagere med systemene. Å forstå verktøyene og prosessene

Resultat

som ligger bak kan bidra til økt tillit til teknologien. En annen viktig forutsetning oppleves å være tillit; mellom brukeren og designeren av systemene, og mellom brukeren og maskinen.

Generativt design og parametrisk design nevnes som nyttige verktøy. En informant forklarer teknikkene, hvor brukeren på forhånd definerer visse parametere og krav til designet, eller beskriver et problem som ønskes løst; deretter genereres et hundretalls alternativer som møter forhåndsdefinerte kriterier. I sin enkleste form kan generativt design, for eksempel, benyttes til topologi-optimalisering. Mer avanserte former for generativ design kan kobles opp mot skytjenester for å dra nytte av en større prosesseringskapasitet; dette åpner for å utforske flere titalls mulige løsninger parallelt, og dermed spare tid, samtidig som et stort antall alternativer undersøkes. Informanten skiller mellom generativt design og parametrisk design, der generativt design leverer løsningen sin iterativt, etter å ha vurdert løsningene i forrige iterasjon, mens parametrisk design åpner for at brukeren kan foreta endringer i de foreslåtte løsningene i sanntid. Maskiner er foreløpig ikke like gode som mennesker til å løse åpne, kreative problemer. Gjennom automasjon vil kunstig intelligens og roboter likevel kunne spare tid og ressurser, slik at menneskene kan bruke sin tid på mer sammensatte problemer.

En informant argumenterer for at den største gevinsten ved bruk av kunstig intelligens ligger i muligheten til å behandle enorme mengder data på relativt kort tid, med relativt få ressurser. Dette gjør kunstig intelligens egnet for vurdering av ulike alternativer. Noen aktører benytter allerede tidligere data til beslutningsstøtte i nye prosjekter, men en delt oppfatning ser ut til å være at dette vil kunne gjøres mer effektiv ved mer målrettet bruk av aktuelle verktøy, og ved økt bruk av kunstig intelligens.

4.4 Øvrige funn

Deltakelse på seminar og webinar bidro med en tydelig oppsummering av bransjens fokus per dags dato, og hvilke styrker og svakheter som ligger i enkeltløsninger. Hvilket potensial bransjen som helhet innehar ble også diskutert, og arrangørene la særlig vekt på hvordan aktørene i bransjen må arbeide sammen for å møte utfordringene vi nå står overfor.

Blant felles løsninger ble panteordninger og ressursbanker nevnt. Slike ordninger kan organiseres av en ekstern aktør, som spesialiserer seg på feltet. Det kan i mange tilfeller være hensiktsmessig for prosjektene å overlate dette til en tredjepart, da prosjektene ikke nødvendigvis har kapasitet til å håndtere denne typen arbeid selv. Per dags dato tilbyr enkelte aktører å ta i mot brukte elementer, eksempelvis paller, mot en sum. Aktørene kan oppbevare elementene for den aktuelle entreprenøren, slik at entreprenøren selv kan hente dem ut ved behov; eventuelt kan aktøren kjøpe elementene, og selge dem til andre entreprenører. Samarbeid mellom aktører på enkelte prosjekter ble også fremhevet som sentralt. Aktørene anbefales å sammen definere felles mål, og se på løsninger som er benyttet tidligere; hvordan kan aktørene jobbe godt sammen, og hvordan kan de spille hverandre gode?

Bransjen som helhet ser ut til å møte en strukturell utfordring i at materialer er relativt billig, mens arbeidstimer er relativt dyrt. I tillegg er fremdrift i prosjektet viktig. Erfaring tilsier at en kombinasjon av nevnte faktorer i flere tilfeller kan gjøre at materialer som i utgangspunktet er i god stand blir kastet, fordi kostnaden ved å samle, stable, transportere og lagre materialene til fremtidig bruk blir større enn kostnaden ved å kjøpe nytt. I samtale understrekes at mange aktører nok vil trenge et økonomisk insentiv for å komme i gang med satsingen. Her kommenteres at reduserte kostnader knyttet til innkjøp og avhending av materialer kan brukes som salgspunkt ved behov for ytre motivasjon.

På seminar diskuteres hvordan overgangen fra lineær til sirkulær modell kan gi gunstige effekter for hele materialstrømmen. En stor del av arbeidet handler om et livsløpsperspektiv. Særlig på overgangen fra et *vugge-til-grav*-tankesett, til *vugge-til-vugge* fremheves, og hvordan denne kan redusere utslipp i hele verdikjeden.

Resultat

Erfaring presentert i forbindelse med webinar tilsier at en Just-In-Time tilnærming for bestilling av materialer gir gode gevinster. Ved hjelp av en god plan og en aktiv og engasjert prosjektledelse kan materialer bestilles etter hvert som behovet oppstår. På seminar trekkes gode rutiner for lagerlogistikk frem som viktig for å fasilitere ressurseffektivitet og ombruk.

Befaring av avfallsstasjon i forbindelse med prosjektbesøk avdekket noen av hovedårsakene til at avfall i form av trevirke og gips oppstår. Trevirke-avfall er gjerne små rester av planker, som ikke sees monn i andre steder i prosjektet. Paller utgjorde også en stor del av avfallet i containerne for trevirke. En stor andel av pallene var engangspaller, som gjerne kan brukes nettopp bare én gang. Observasjonen stemte med uttalelser og erfaringer som fremkom i forbindelse med seminar om avfallsfraksjonen trevirke. På seminar nevnes fingerskjøting av trevirke som en mulig løsning for utnyttelse av avkapp som tidligere måtte kastes.

Avfallsfraksjonen gips oppstår ofte i forbindelse med kapp for tilpasning til vinduer og dører, hvor arbeiderne må unngå skjøt mellom plater, og derfor tvinges til å kutte større biter av hele gipsplater. På et seminar nevnes en løsning for denne typen problematikk, en metode hvor en skjøt tilvirkes på rester av gipsplater, slik at restene enklere - og mer presist - kan monteres sammen med andre rester. Uttalelser tyder på at denne teknologien ikke er utbredt i stor grad per dags dato. Befaringen avdekket også betydelige mengder gips kastet grunnet mangelfull oppbevaring etter gipsen ankommer byggeplassen. Gipsen hadde blitt våt, og måtte kastes.

Erfaringer presentert ved webinar tilsier at man ved å utnytte teknologier for automatisering og industriell produksjon kan få en mye mer nøyaktig tilvirkning, og med dette en «gjøre det riktig første gang» tilnærming. 3D-printing nevnes som et alternativ til tilvirkning av komponenter av komposittmaterialer, for å minimere - og potensielt eliminere - alt kapp som ikke kan sorteres. Også på seminar antydes betydelige gevinster ved industriell produksjon, i form av både redusert forbruk av ressurser, så vel som redusert behov for bruk av maskiner og utstyr på byggeplassen. Digitale verktøy, slik som BIM vurderes å utgjøre et betydelig potensial for mer nøyaktige mengdeberegninger, og dermed også avfallsreduksjon. BIM ansees også som essensielt for å kunne benytte pre-kutt og pre-fab effektivt.

Overordnet identifiseres fire hovedutfordringer som hindrer arbeidet mot avfallsfrie byggeplasser: planlegging og bestilling av materialer skjer ofte for sent i prosessen, og er ikke presis nok; skader oppstår på materialer underveis i transport, håndtering eller oppbevaring;

Resultat

manglende kompetanse, kultur eller holdning for målrettet arbeid med avfallsreduksjon; i tillegg til svinn og avkapp underveis i produksjon og på byggeplass. Bruk av moduler og andre monteringsklare produkter på byggeplass fremheves i flere webinarer.

På webinar nevnes samspillet mellom alle involverte aktører i prosjektet spesielt, og god logistikk og kommunikasjon som sentralt i arbeidet. Alle aktører må involveres: det er viktig at ledelsen stiller krav på et overordnet, strategisk nivå - men det er like viktig at det enkelte montøren får opplæringen og oppfølgingen som er nødvendig. Montøren tillegges stor viktighet, da enkelte montører eksempelvis produserer mer avkapp enn andre. På seminar trekkes montørene frem som ressurser, ettersom flere montører finner sine egne, gode løsninger på sine byggeplasser; det anbefales å etablere forum for deling av slike erfaringer.

Emballasje vurderes som en stor kilde til avfall, både ved observasjon og i forbindelse med workshop og seminar. Flere grupper foreslår gjenbrukbar emballasje for å redusere avfall i form av papp og papir, plast og tre. Utviklingen av slike løsninger antas å kunne gi gode synergieffekter i form av ryddigere byggeplass, bedret HMS og kostnadsreduksjon.

Muligheten til å eliminere menneskelige feil identifiseres gjennom kurs som en klar fordel ved økt bruk av kunstig intelligens. Teknologier basert på kunstig intelligens spås å i stadig økende grad kunne ta over oppgaver som tidligere bare mennesker kunne gjøre. Disse teknologiene betegnes ofte som kognitive teknologier, og inkluderer teknikker innen datasyn, maskinlæring, språkbehandling, robotikk og talegjenkjennelse. Kurs peker på skillet mellom kunstig intelligens som fagfelt, og de enkelte teknologiene som har sitt utspring i fagfeltet.

I forbindelse med webinar trekkes generativ design frem. Blant aktuelle bruksområder nevnes automatisering av design, planlegging og produksjon, eller beslutningsstøtte i idéfasen. *Autodesk* blir ansett som en særlig viktig aktør i denne forbindelse, med en rekke relevante verktøy, som *Project Refinery* og *Autodesk Construction Cloud*. *Project Refinery* gir brukeren en rekke alternative design med utgangspunkt i definerte mål. *Autodesk Construction Cloud* blir først og fremst beskrevet som en felles plattform for kommunikasjon på tvers av flater, faser og fag, men innehar også funksjoner som kan bidra til å identifisere og redusere risiko som kan oppstå allerede i designfasen.

Resultat

Flere etiske spørsmål knyttet til bruk av kunstig intelligens dukker opp, både i forbindelse med kurs og webinar. Spørsmål som stilles er i hvilken grad maskinene selv vil - og bør - være i stand til å ta egne avgjørelser i spørsmål som kan klassifiseres som etiske gråsoner. Utstrakt bruk av kunstig intelligente systemer vil forutsette en viss grad av tillit mellom brukeren og designeren av systemet. På webinar nevnes maskinlæringsalgoritmer som et, potensielt, etisk vanskelig område. Dette skyldes at maskinlæringsalgoritmer i stor grad bygger sine egne modeller; dette kan føre til at algoritmene fremstår som en *black box*, både for bruker og designer. I et slikt tilfelle kan det være vanskelig å vite hvilke antakelser og forutsetninger som ligger til grunn for en avgjørelse systemet gjør.

Webinar peker på at bruk av kunstig intelligens kan bidra til å sikre best mulig utnyttelse av tomter til både bolig og næringsbygg. Presentasjoner peker også på kompleksiteten på byggeplass som en potensiell utfordring ved bruk av kunstig intelligens. Mange modeller for maskinlæring er utviklet med utgangspunkt i nær perfekte datasett, og er derfor ikke nødvendigvis tilpasset stadig skiftende rammebetingelser.

5 Diskusjon

Kapittelet vil med utgangspunkt i det teoretiske grunnlaget reflektere omkring oppgavens funn, som empirisk grunnlag for diskusjon. Kapittelet vil først ta for seg identifiserte og prioriterte fraksjoner, og deretter skissere en rekke tiltak for avfallsreduksjon, overordnet og for hver enkelt fraksjon, med utgangspunkt i avdekket mulighetsrom. Til slutt vil kapittelet diskutere hvilke gevinster som kan forventes ved implementering anbefalte tiltak.

5.1 Tiltak for avfallsreduksjon

Dette delkapittelet vil konkretisere relevante tiltak for avfallsreduksjon, overordnet og for hver enkelt avfallsfraksjon: trevirke, for gips, for papp og papir, plast og restavfall.

5.1.1 Overordnet avfallsreduksjon

Tidlig definisjon av hensiktsmessige mål for avfallsproduksjon vil være et sentralt tiltak for å oppnå ambisjonen om avfallsfrie byggeplasser. Per dags dato definerer prosjekter ofte mål for sorteringsgrad, og veien til å definere mål for avfallsmengder bør derfor ikke være lang. En slik målsetting kan gjerne baseres på indikatoren kg avfall per kvm bygg. Indikatoren kan deretter fordeles gjennom prosjektets faser, eksempelvis kan prosjektet tillate 4 kg avfall per kvm i forbindelse med råbygg, 7 kg i forbindelse med innredning, og så videre. Alternativt kan indikatoren fordeles mellom byggetrinn, mellom ulike konstruksjoner, eller mellom ulike etasjer i samme bygg. Aktuelle verktøy for identifiseringen av hensiktsmessige mål kan være Construction Process Analysis eller Muda Walk. En Muda Walk kan gjennomføres virtuelt, eller fysisk, på tilsvarende prosjekter. Det være aktuelt å benytte utvalgte samspillselementer i selve definisjonen av hensiktsmessige mål, slik at alle aktører blir inkludert i prosessen.

Eksempelvis kan et oppstartsseminar, eller en tidlig samtale med alle involverte aktører være hensiktsmessig, for å kunne definere et mål som er realistisk for alle parter, og gi alle involverte en sjanse til å tilpasse sin produksjon til definerte mål. Tidlige møter, gjerne i kombinasjon med fysisk samlokalisering, kan bidra til utviklingen av en felles kultur og et felles «språk» - i tillegg til en økt følelse av eierskap og ansvar hos hver enkelt aktør.

Diskusjon

Det vil også kunne være nyttig å tallfeste et konkret mål for avfallsreduksjon for hvert enkelt prosjekt, og tallfeste et konkret mål for avfallsreduksjon for hver enkelt aktør i prosjektet. Dette vil kunne bidra til å tydeliggjøre ansvaret til alle involverte aktører. Å forankre målet i organisasjonens retningslinjer kan være med på å underbygge en kultur hvor avfallsreduksjon står i fokus og prioriteres gjennom alle prosjektets faser. Ved å definere konkrete mål kan ytelse på det enkelte prosjektet måles opp mot en standard i organisasjonen, eller i bransjen, noe som kan skape intern konkurranse prosjektene mellom, og bidra til økt motivasjon.

Et tidlig møte legger også til rette for en *tidlig og tydelig plan for ressursoptimalisering* i prosjektet. En slik plan kan inneholde en oversikt over hvilke materialer hver enkelt aktør planlegger å arbeide med, hvor de forutser at overskuddsmateriale kan oppstå, og hvordan eventuelt overskuddsmateriale kan utnyttes av andre aktører på plassen. Avklaringen kan eksempelvis organiseres som et oppstartsseminar. En slik samtale vil gi klare gevinster i form av økt bevissthet omkring temaet, og kan potensielt spare byggeplassen for flere kg avfall. En sirkulærøkonomisk tilnærming ser ut til å kunne være hensiktsmessig; i så fall vil det kunne være aktuelt å involvere aktører utenfor det enkelte prosjektet.

En annen, viktig del av både bevisstgjøring og ansvarliggjøring av hver enkelt aktør er en *tidlig og tydelig avklaring av rutiner på byggeplass*. Her kan entreprenøren presentere sine forventninger og krav til hver enkelt underentreprenør og leverandør. Dersom disse i tillegg kontraktfestes i en tidlig fase av prosjektet er sjansen mye større for at alle aktører vil etterleve definerte rutiner. Slike rutiner kan omhandle hvordan og hvor ofte avfall skal avhendes, hvilke containere man ønsker å etablere på avfallsstasjonen, eller hvilken aktør som har ansvar for hvilken del av avfallshåndteringen. Dette kan følges opp gjennom prosjektet ved å, for eksempel, gjøre avfallshåndtering til et fast punkt på møteagendaen.

Etter å ha definert et hensiktsmessig mål for avfallsproduksjon er det essensielt med en *fortløpende måling av avfallsmengder* for å overvåke status. På denne måten kan produksjonen tilpasses dersom avfallsproduksjonen nærmer seg definerte mål. Dette vil være essensielt, ettersom produksjon ofte foregår parallelt på ulike deler av byggeplassen.

Dersom byggeplassen lykkes med en fortløpende måling, bør en *fortløpende rapportering av avfallsmengder* være neste steg. Rapporteringen kan skje internt på prosjektet, eller eksternt, til

Diskusjon

personell i stab. På denne måten kan flere involveres, og delta i en diskusjon om konkrete tiltak for det aktuelle prosjektet ved behov. Her kan samspillselementer i form av etablerte samspillsgrupper eller kontinuerlige workshops benyttes. Et alternativ er Huddle Meetings, som eksempelvis kan arrangeres ved arbeidsdagens start eller slutt.

Når måling og rapportering er på plass, kan en *fortløpende og visuell presentasjon av avfallsmengder på byggeplass* være fordelaktig. Presentasjonen kan plasseres på, eller i forbindelse med en HMS-tavle, i fellesområder på brakkerigg, eller ved inngangen til byggeplassen. Hovedpoenget er at alle som arbeider på byggeplassen, og dermed kan bidra i avfallsproduksjonen på byggeplassen, skal se den daglige utviklingen. Det kan være vanskelig å ha et begrep om den faktiske størrelsesordenen av avfallsproduksjonen, og en enkel, visuell rapport kan bli nok et ledd i både bevisstgjøring og kunnskapsbygging.

Flere intervjuobjekter foreslår *en dedikert person med ansvar for avfallshåndtering og styring* på byggeplassen. Per dags dato er det gjerne en miljørådgiver eller anleggsarbeider med interesse eller erfaring innen feltet som får ansvar for avfallshåndteringen; på toppen av allerede definerte arbeidsoppgaver. Ordningen gjør at avfallshåndteringen stadig vekk må nedprioriteres til fordel for mer pulserende gjøremål. Dette er naturligvis uheldig, og illustrerer målkonfliktene de ansvarlige for avfallshåndtering daglig står overfor. En dedikert ansvarlig for avfallshåndtering vil naturligvis medføre et behov for økte ressurser i form av lønn til vedkommende - men sett opp mot antatte gevinster ved en eventuell avfallsreduksjon kan dette potensielt bli en investering med større avkastning på sikt.

For å muliggjøre ombruk av materialer og elementer lokalt på byggeplassen er det viktig å *etablere rutiner for lagervirksomhet*. Byggeplassen må ha kapasitet til å holde et mellomlager lett tilgjengelig. Et ryddig lager vil også redusere behovet for unødvendige innkjøp, ettersom det vil være enklere å holde en oversikt over hvilke ressurser som er tilgjengelige til enhver tid. Å *etablere rutiner for materialbestilling etter behov* vil også bidra til at prosjektet unngår å bestille unødvendige materialer, som senere blir kastet. Dette vil representere en av flere muligheter til å implementere en mer *trimmet* tankegang på byggeplassen. Å opprettholde slike rutiner kan være utfordrende, og vil, i likhet med tidligere nevnte tiltak, kreve ressurser i prosjektet. Ved innføring av en ansvarlig for avfallshåndtering vil organisering og logistikk tilknyttet eventuelle lagre på byggeplassen kunne være eksempler på arbeidsoppgaver. Mindre og hyppigere bestillinger kan, potensielt, medføre økte klimagassutslipp i forbindelse med

Diskusjon

transport; dette bør vurderes nærmere for hvert enkelt prosjekt. Å eksplisitt skille bestilling og levering kan potensielt gi en bedre oversikt over varer som ankommer, ved at de to ikke trenger å knyttes til ett og samme avtaletidspunkt. Ved å organisere bestilling og levering puljevis reduseres sannsynligheten for at for store kvantum bestilles, eller at mengden som ankommer byggeplassen blir uhåndterlig, og ikke kan lagres korrekt. En Just-In-Time tilnærming for bestilling kan bidra til å redusere behovet for lagringsplass.

Både litteratur og intervjuobjekter viser til etableringen av ressursbanker. For prosjektene kan det være store fordeler ved å *inngå et samarbeid med en ressursbank* for organisert ombruk. På denne måten kan prosjektet hente ut ressurser de trenger - potensielt til redusert pris - i forkant av, eller til og med underveis i produksjonen. Videre kan overskuddsmateriale selges til ressursbankene, til bruk for andre aktører, eller til egen bruk i senere prosjekter. Tredjepartsløsninger reduserer også prosjektens behov for egen lagringsplass, noe som kan være utfordrende i både planlegging og gjennomføring, spesielt for fortettingsprosjekter. Ressursbankene er i hovedsak lokalisert omkring sentrale Østlandet, og derfor først og fremst aktuelle for prosjekter som gjennomføres i disse områdene per dags dato.

Panteordninger vil være en løsning som kan implementeres både på bransjenivå, og på prosjektnivå. Pant kan innføres både for ubrukte materialer og elementer, eller brukte materialer og elementer som kan ombrukes. En panteordning kan eksempelvis innebære pant på standardiserte elementer som paller, hele lengder av trevirke, hele gipsplater, OBS-plater, tromler eller emballasje. En slik ordning vil forutsette en bærekraftig prissetting av panten for alle involverte, og at en aktør tar ansvaret for å utøve tjenesten. På bransjenivå kan en slik ordning gjennomføres ved at leverandører av utvalgte materialer eller elementer tilbyr tjenesten til sine kunder. På prosjektnivå kan det være entreprenøren som tilbyr tjenesten til sine underentreprenører eller i samarbeid med utvalgte leverandører på byggeplassen. Tredjepartsløsninger for pant på paller eksisterer allerede i bransjen.

Det ser ut til å ligge klare fordeler i *opplæring av involverte aktører på alle nivå* i prosjektorganisasjonen. Opplæring av ansvarlige for tilvirkning i produksjon kan, som flere intervjuobjekter påpeker, i større grad fasilitere en «gjøre det riktig første gang»-tilnærming, og dermed redusere sløsing i form av både tid og potensielle besparelser i materialer. Opplæring av nyansatte kan gjøres i regi av erfarne ansatte, eller kurs kan arrangeres av en tredjepart. Ved å utnytte digitale verktøy som VR, AR og BIM kan aktører på byggeplassen få muligheten til å

Diskusjon

«besøke» byggeplassen i en virtuell verden i forkant av faktisk ankomst. Dette kan eksempelvis benyttes til instruksjon av fagarbeidere, for spesifikke prosesser eller tilvirkninger. Det kan være hensiktsmessig å planlegge for at opplæringen også inneholder holdningsarbeid knyttet til avfall og miljøperspektivet.

Insentivordninger med bonus-malus ser ut til å kunne være en sentral motivasjonsfaktor i arbeidet mot avfallsfrie byggeplasser. Dette nevnes både i intervju og spørreundersøkelse. Ved en slik ordning kan gode prestasjoner og resultater i form av avfallsreduksjon belønnes, og aktører som velger å ikke følge initiativet opp vil bli nødt til å betale - bokstavelig talt. Erfaring tilsier at slike ordninger vil kunne gi effektivitetsgevinster, og resulterende økt lønnsomhet. En insentivordning vil imidlertid bli en form for ytre motivasjon, og det vil derfor være hensiktsmessig å implementere denne ordningen i kombinasjon med målrettet arbeid for *bevisstgjøring og holdningsendring*. Et slikt arbeid kan bidra til å bygge indre motivasjon hos de ansatte, og dermed på sikt, sørge for engasjerte medarbeidere.

Som en forlengelse av tidlig og tydelig avklaring av rutiner på byggeplassen anbefales å *inngå avtaler med underentreprenører og inngå avtale med leverandører*. Med dette menes kontraktsfestede avtaler, som eksempelvis kan inneholde retningslinjer for insentivordninger med bonus-malus, men også andre krav og forventninger til underentreprenør og leverandørs rolle i arbeidet for avfallsreduksjon.

Mange peker på *kontinuerlig inspeksjon av avfallsstasjoner* som et relevant tiltak, ettersom dette vil kunne bidra til å tidlig oppdage eventuell feilsortering; i tillegg kan kontrolleffekten, Hawthorneeffekten, bidra til at arbeiderne legger en større innsats i håndtering og sortering. Dette vil også være et sentralt tiltak for å kunne følge opp eventuelle avtaler.

For å dra nytte av de positive effektene som kan forventes ved digitalisering, og legge til rette for økt bruk av kunstig intelligens anbefales å *etablere en felles digital plattform for alle på prosjektet*. Dette kan bli en plattform for kommunikasjon mellom alle involverte på prosjektet, men også være en informasjonskanal, hvor hver enkelt aktør får tilgang på informasjon som er relevant for deres arbeidsoppgaver. I tillegg anbefales å *etablere en felles digital plattform for erfaringsoverføring*, kontinuerlig gjennom prosjektet, og ved prosjektets slutt. På denne måten kan senere faser eller senere prosjekter dra nytte av tidligere erfaringer.

Diskusjon

Utviklingen av bærekraftige løsninger vil kunne dra nytte av å *involvere nedstrøms aktører i oppstrøms beslutninger*. Disse aktørene vil kunne delta i diskusjonen med verdifulle innspill til valg av løsninger som er hensiktsmessige, og som lar seg implementere i praksis. Aktuelle samspillselementer kan være samlokalisering, workshops og inkludering av rådgivere, underentreprenører og arkitekter i samme spillgruppe og i samme kontrakt; dette skaper en arena hvor disse aktørene kan kommunisere direkte, og sammen komme frem til de best egnede løsningene for prosjektet.

Inspeksjoner i og av alle prosjektets faser kan være avgjørende for å forhindre feil som oppstår grunnet uklar kommunikasjon mellom aktører. Intervjuer peker på at avfall ofte oppstår som følger av manglende kontakt mellom alle involverte aktører på prosjektet. Selv etter tidlige møter med forventningsavklaringer og definisjon av mål for avfallsreduksjon vil det være nyttig å opprettholde en tett dialog. Visuelle og entydige inspeksjoner vil være å foretrekke, slik at aktørene unngår å snakke forbi hverandre.

Nøyaktig og funksjonell *planlegging av byggeplass*, vil sannsynligvis kunne gi betydelige gevinster. Byggeplassen kan eksempelvis planlegges med tanke på plassering og organisering av avfallsstasjoner, leveringsområder, soner for tilvirkning og montering, avhending av avfall, oppsamlingssteder i og utenfor bygg, samt plassering av containere i forhold til kran.

Tabell 10 oppsummerer anbefalte tiltak for overordnet avfallsreduksjon.

Tabell 10: Anbefalte tiltak for overordnet avfallsreduksjon.

1-1.	Tidlig definisjon av hensiktsmessige mål for avfallsproduksjon
1-2.	Tidlig og tydelig plan for ressursoptimalisering
1-3.	Tidlig og tydelig avklaring av rutiner på byggeplass
1-4.	Fortløpende måling av avfallsmengder
1-5.	Fortløpende rapportering av avfallsmengder
1-6.	Fortløpende og visuell presentasjon av avfallsmengder på byggeplass
1-7.	En dedikert person med ansvar for avfallshåndtering og styring
1-8.	Etablere rutiner for lagervirksomhet
1-9.	Etablere rutiner for materialbestilling etter behov
1-10.	Inngå et samarbeid med en ressursbank

Diskusjon

1-11. Panteordninger
1-12. Opplæring av involverte aktører på alle nivå
1-13. Insentivordninger med bonus-malus
1-14. Bevisstgjøring og holdningsendring
1-15. Inngå avtaler med underentreprenører
1-16. Inngå avtaler med leverandører
1-17. Kontinuerlig inspeksjon av avfallsstasjoner
1-18. Etablere en felles digital plattform for alle på prosjektet
1-19. Etablere en felles digital plattform for erfaringsoverføring
1-20. Involvere nedstrøms aktører i oppstrøms beslutninger
1-21. Inspeksjoner i og av alle prosjektets faser
1-22. Planlegging av byggeplass

5.1.2 Reduksjon av fraksjonen trevirke

Flere intervjuobjekter trekker frem *økt bruk av digitale verktøy for bestilling av mer nøyaktige mengder materiale* som en viktig del av arbeidet for å redusere fraksjonen trevirke. Flere nevner at selve teknologien er godt kjent i dag, men at potensialet ikke utnyttes til det fulle. Et intervjuobjekt nevner *øremerking av materiale som ankommer byggeplassen* som en mulig løsning for dette. Innføringen av en slik ordning vil lette arbeidet for fagarbeidere på byggeplassen, som ikke vil trenge å bruke tid på å spekulere i hvilke materialer som skal brukes hvor. Eksempelvis kan materialene merkes med en strekkode eller RFID-kode, som kan scannes av fagarbeiderne. Koden vil gi arbeiderne informasjon om hvilke materialer som skal brukes hvor, og løsningen vil i så måte redusere sløsing i form av både tid og materialer.

En slik løsning kan kombineres med en økt satsning på å *bestille pre-fab-elementer og bestille pre-kutt-elementer*. Dette vil ytterligere redusere både tid brukt og material tapt til kapp eller feilaktig bearbeiding betraktelig. Samtidig må både merking, pre-fab og pre-kutt foregå et eller annet sted, selv om tilvirkningen flyttes fra byggeplassen. Per dags dato mangler representative data knyttet til størrelsesordenen av kapp som oppstår på byggeplass sammenlignet med kapp som oppstår ved en mer industriell tilnærming; likevel peker casestudier på opptil 85 % avfallsreduksjon for fraksjonen ved økt bruk av pre-fab løsninger. Flere informanter har også god tro på pre-fab elementer for reduksjon av fraksjonen. Det er nærliggende å anta at den mest

Diskusjon

hensiktsmessige tilnærmingen for en slik løsning vil være en leverandør som spesialiserer seg på denne typen løsninger, og dermed kan levere en slik bestilling med minimale ressurser, tid og materialer. Litteraturen avdekker ingen leverandører av slike tjenester per dags dato, men tilstrekkelig etterspørsel i markedet vil etter all sannsynlighet kunne tiltrekke seg potensielle leverandører. Å planlegge for økt bruk av pre-fab og pre-kutt vil være en variant av design for produksjon utenfor byggeplassen.

I tillegg til å benytte pre-fab for elementer i tre, vil det være hensiktsmessig å eksempelvis planlegge for økt bruk av pre-fab-elementer av betong. Plasstøping av betong er identifisert som en vesentlig kilde til treavfall, ettersom store mengder tre benyttes til forskaling.

Lån eller leie av elementer som ikke kan gjenbrukes kan redusere avfallsmengden betraktelig. Riggerarbeid og forskaling ble i spørreundersøkelsen avdekket som en av de største kildene til avfall i form av trevirke. Intervjuobjekter kunne fortelle at trevirke benyttet for rigg i hovedsak består av løsninger for sikring, eksempelvis rekkverk. Enkelte leverandører tilbyr leie av elementer for både riggerarbeid og forskaling, som leveres tilbake etter endt bruk. Dette vil eliminere bruken av materialene som tidligere ble benyttet til samme formål, og kan potensielt spare relativt store mengder. Et intervjuobjekt hadde erfart at mengden materialer benyttet for rigg kunne reduseres kraftig ved å *montere for demontering*. Alle anordninger ble montert med skruer som enkelt kunne skrues ut, heller enn spiker eller mer permanente løsninger. Dette gjorde at de kunne flytte riggen omkring på byggeplassen etter behov, og dermed unngikk å bruke nye materialer for hver konstruksjon. Bruk av en kompetent riggmann i prosessen vil kunne bidra til å minimere avfallet ytterligere.

Paller ser ut til å være et særlig potensial for fraksjonen. Befaring på byggeplass viser at containere for trevirke, for noen faser av prosjektet, fylles med vesentlige mengder paller, spesielt engangspaller. Observasjonen underbygges av anslag i spørreundersøkelsen. Et innledende tiltak kan derfor være *bruk av Europaller fremfor engangspaller*. På denne måten kan pallene benyttes flere ganger før de må avhendes. Et slik tiltak vil forutsette en dialog med leverandør, hvor entreprenøren spesifikt forespør bruk av Europaller fremfor engangspaller ved leveranser fra den aktuelle leverandøren. Datagrunnlag mangler for å nøyaktig kvantifisere eventuelle konsekvenser av en slik omstilling. Europaller er vesentlig tyngre enn engangspaller, og det er derfor nærliggende å anta at endringen vil kunne ha implikasjoner for både transport og mottak av leveranser, samt i verdikjeden for øvrig. Dette anbefales nærmere undersøkt før

Diskusjon

en endelig implementering. Videre anbefales å etablere en ordning for *ombruk av Europaller*, enten lokalt på byggeplass, i samarbeid med leverandør eller aktører i markedet som tilbyr mellomagring av elementer fra byggeplass. Slike ordninger vil være en naturlig del av overgangen til en mer sirkulær økonomi i bransjen.

Undersøkelser tyder på at det er flere tiltak som kan implementeres i designfasen for å redusere avfall, særlig i form av trevirke. En tilnærming er *design for standardiserte elementer*. Dette vil være en variant av design for optimalisering av materialer, hvor bygget som designes, naturlig nok, tilpasses bruken av standardiserte elementer, eksempelvis standard lengder av planker eller finérplater. En annen tilnærming er *design av bruk for avkapp*, som vil være en variant av design for ombruk. Her undersøkes muligheten for bruk av avkapp som oppstår i andre deler av prosjektet allerede i designfasen. En tredje tilnærming er *design for delt geometri*, hvor bygget tilrettelegges for at områder eller deler av bygget designes etter samme geometri. Dette vil også være en variant av design for optimalisering av materialer. Design for delt geometri kan bidra til å redusere sannsynligheten for feil ved tilvirkning av materialer, ved at montørene i større grad får muligheten til å gjenta samme teknikker og metoder, i stedet for å variere disse for hvert enkelt område.

I forbindelse med seminar og webinar diskuteres muligheten for å etablere et *lokalt lager for avkapp og annet ubrukt materiale*. Dette forutsetter naturligvis tilgjengelig ledige områder på byggeplassen, noe som ikke alltid er gjennomførbart, eksempelvis i fortettingsprosjekter. Oppbevaring av materialer for senere ombruk - enten på eller utenfor byggeplassen - vil være særlig aktuelt for elementer som er identifisert som særlig egnet for ombruk som hele lengder av konstruksjonsvirke, søyler, bjelker, kryssfinérplater, og kledning.

Det antas å ligge betydelige gevinster i *funksjonelle produksjonslinjer*, hvor visse prosesser og aktiviteter organiseres etter funksjonalitet. I dag foregår store deler av produksjonen per område på byggeplassen; ved å revurdere dagens produksjonslinjer kan produksjonen eksempelvis foregå per element eller per modul. Dette kan muligens gi mer tid tapt til forflytting av arbeidere på byggeplassen, men kan til gjengjeld bidra til å redusere sannsynligheten for feil eller misforståelser knyttet til selve tilvirkningen.

Diskusjon

Som en utvidelse av planlegging av byggeplassen kan det være aktuelt, særlig for trevirke og gips, å etablere *definerte soner for levering av varer*. Dette kan bidra til et redusert behov for forflytning og frakt internt på byggeplassen. Disse sonene bør inngå overordnet planlegging av byggeplassen, og kan gjerne flyttes gjennom produksjonsfasen, etter hvilken plassering som vil være mest hensiktsmessig.

Tabell 11 oppsummerer anbefalte tiltak for reduksjon av avfallsfraksjonen trevirke.

Tabell 11: Anbefalte tiltak for reduksjon av avfallsfraksjonen trevirke.

2-1.	Økt bruk av digitale verktøy for bestilling av mer nøyaktige mengder materiale
2-2.	Øremerking av materiale som ankommer byggeplassen
2-3.	Bestille pre-fab-elementer
2-4.	Bestille pre-kutt-elementer
2-5.	Lån eller leie av elementer som ikke kan gjenbrukes
2-6.	Montere for demontering
2-7.	Bruk av Europaller fremfor engangspaller
2-8.	Ombruk av Europaller
2-9.	Design for standardiserte elementer
2-10.	Design for bruk av avkapp
2-11.	Design for delt geometri
2-12.	Lokalt lager for avkapp og ubrukt materiale
2-13.	Funksjonelle produksjonslinjer
2-14.	Definerte soner for levering av varer

5.1.3 Reduksjon av fraksjonen gips

Tilsvarende som for trevirke anbefales både *økt bruk av digitale verktøy for bestilling av mer nøyaktige mengder materiale* og *øremerking av materiale som ankommer byggeplassen* for å redusere avfallsfraksjonen gips. Å bestille elementer i form av *pre-fab* og *pre-kutt* anbefales også, av samme årsak. Fraksjonen gips skiller seg fra fraksjonen trevirke ved at gips stort sett produseres og leveres i plater av standard størrelse. Trevirke produseres og leveres i et mangfold av lengder og størrelser, og et intervjuobjekt spekulerer derfor i hvorvidt det kan være enklere - og rimeligere - å benytte slike løsninger for trevirke, sammenlignet med gips.

Diskusjon

Gips er et skjørt materiale, og *hensiktsmessig oppbevaring på byggeplass* er derfor sentralt for å unngå skader grunnet fukt eller støt. Oppfatningen etter spørreundersøkelsen ser ut til å være at avfall i form av gips i hovedsak oppstår ved tømmerarbeid og i selve produksjonen; likevel vil det være nyttig å eliminere svinn grunnet mangelfull oppbevaring fullstendig.

På samme måte som for trevirke vil fraksjonen gips kunne nyte godt av tiltak implementert i designfasen; *design for standardiserte elementer*, eksempelvis standard størrelser gipsplater, *design for bruk av avkapp* og *design for delt geometri*. Også for gips vil det være relevant å etablere et *lokalt lager for avkapp og annet ubrukt materiale*. Ombruk av gips forutsetter, som nevnt, at gipsen er skjermet for fukt og annen eksponering ut mot omgivelsene; dette stiller større krav til et eventuelt lager enn for fraksjonen trevirke.

Fraksjonen gips er antatt å kunne hente enda større besparelser enn trevirke ved en overgang til *funksjonelle produksjonslinjer*, ettersom gips er mer utsatt for forringelse som følge av feilaktig eller mangelfull håndtering og oppbevaring. Ved å i større grad tilpasse produksjon og tilvirkning til disse hensynene kan betydelige besparelser forventes.

Som for trevirke vil *definerte soner for levering av varer* kunne være hensiktsmessig.

Tabell 12 oppsummerer anbefalte tiltak for reduksjon av avfallsfraksjonen gips.

Tabell 12: Anbefalte tiltak for reduksjon av avfallsfraksjonen gips.

3-1.	Økt bruk av digitale verktøy for bestilling av mer nøyaktige mengder materiale
3-2.	Øremerking av materiale som ankommer byggeplassen
3-3.	Bestille pre-fab-elementer
3-4.	Bestille pre-kutt-elementer
3-5.	Design for standardiserte elementer
3-6.	Design for bruk av avkapp
3-7.	Design for delt geometri
3-8.	Lokalt lager for avkapp og ubrukt materiale
3-9.	Funksjonelle produksjonslinjer
3-10.	Definerte soner for levering av varer

5.1.4 Reduksjon av fraksjonen papp og papir

Selv om papp og papir i utgangspunktet egner seg for materialgjenvinning, er det ønskelig å redusere produksjonen av avfallsfraksjonen alt i alt. Både intervjuer og litteratur peker på bruken av emballasje som nødvendig. Dersom materialer og elementer som leveres til byggeplass ikke beskyttes under transport er det nærliggende å anta at svinnprosenten for disse ressursene vil øke. Det er ikke nødvendigvis ønskelig å redusere en fraksjon på bekostning av økt avfallsproduksjon i en annen fraksjon.

En mulig løsning kunne vært en *avtale med leverandør for færre og større forsendelser*. I spørreundersøkelsen trekkes innredning, vindu og dører, kjøkken, VVS og elektrisk utstyr frem som leveranser med særlig mye emballasje. Det kan derfor synes hensiktsmessig å ta kontakt med disse leverandørene med et ønske om færre og større forsendelser, med felles emballasje for mindre materialer og elementer. Det er imidlertid nærliggende å anta at en slik tilnærming vil stille enda større krav til planlegging av bestilling og levering. Ved implementering av dette tiltaket anbefales derfor en tidlig utredning av konsekvensene for det aktuelle prosjektet, med utgangspunkt i faktorer som avstand til leverandør, tilgjengelig rom for lagring på byggeplass og tilstrekkelig kapasitet ved leveringstidspunkt.

I tillegg nevner en informant i spørreundersøkelsen at pappavfall oppstår i forbindelse med tildekking av ferdige gulv. Det kan derfor være aktuelt å etablere en ordning for *lagring av emballasje for bruk til dekke*. På denne måten kan pappemballasjen som kommer inn i prosjektet brukes til tildekking, og dermed gjenbrukes direkte på byggeplassen. Dette vil redusere behovet for ekstra papp på byggeplassen, og dermed kunne bidra til avfallsreduksjon i tråd med avfallshierarkiets øverste nivå.

Flere foreslår valg av *emballasje for flergangsbruk*. Eksempler som nevnes er kasser av tre eller plast, ment for å benyttes flere ganger. Disse kan leveres i retur til leverandør etter bruk.

Diskusjon

Tabell 13 oppsummerer anbefalte tiltak for reduksjon av avfallsfraksjonen papp og papir.

Tabell 13: Anbefalte tiltak for reduksjon av avfallsfraksjonen papp og papir.

4-1.	Avtale med leverandør for færre og større forsendelser
4-2.	Lagring av emballasje for bruk til dekke
4-3.	Emballasje for flergangsbruk

5.1.5 Reduksjon av fraksjonen plast

I likhet med emballasje i form av papp og papir kan emballasje i form av plast reduseres gjennom en *avtale med leverandør for færre og større forsendelser*.

I tillegg vil det for fraksjonen plast være særlig aktuelt å etablere en *avtale med leverandør om bruk av alternative materialer*; eventuelt andre typer plast. Flere intervjuobjekter nevner at plastemballasje gjerne kan brukes kun en gang. Det foreslås derfor at emballasjen som per dags dato er plast kan designes med alternative materialer, eventuelt en type plast som kan benyttes flere ganger. Ved en slik endring kan en ombruksordning - enten gjennomført internt på byggeplassen, eller i samarbeid med en ekstern leverandør - være aktuelt.

Også for plast foreslås *emballasje for flergangsbruk*.

Tabell 14 oppsummerer anbefalte tiltak for reduksjon av avfallsfraksjonen plast.

Tabell 14: Anbefalte tiltak for reduksjon av avfallsfraksjonen plast.

5-1.	Avtale med leverandør for færre og større forsendelser
5-2.	Avtale med leverandør om bruk av alternative materialer
5-3.	Emballasje for flergangsbruk

5.1.6 Reduksjon av fraksjonen restavfall

For å redusere fraksjonen restavfall vil det være essensielt å øke sorteringsgraden på byggeplassen. Dette vil ikke nødvendigvis medføre en avfallsreduksjon totalt sett, men vil redusere kostnadene knyttet til avhending og ettersortering betraktelig. For å øke sorteringsgraden i et prosjekt er det flere tiltak som kan implementeres.

Flere prosjekter har hatt god erfaring med å *unngå containere for restavfall*. Prosjektene unnlater å bestille egne containere for restavfall, og reduserer på denne måten fraksjonen. Likevel kunne enkelte prosjekter fortelle om at arbeiderne på byggeplassen selv hadde etablert containere for restavfall, ved å rett og slett behandle enkelte containere som om de var restavfall. Dette er naturligvis veldig uheldig. Forhåpentligvis kan opplæring og bevisstgjøring, som nevnt tidligere, bidra til å unngå at slike valg tas.

Enkelte intervjuobjekter nevner språkbarrieren som problematisk ved sortering av avfall. Dette argumenterer for *tydelig merking av containere på alle språk*, gjerne også med illustrasjoner. Dette kan bidra til å minimere feilsortering grunnet kommunikasjonsproblemer.

Både litteratur og intervjuobjekter trekker frem tilgjengelighet av avfallsstasjonen som en viktig faktor i hvorvidt arbeiderne følger opp sorteringen eller ikke. Dersom en arbeider må trekke over en halv byggeplass hver gang noe skal sorteres er sannsynligheten stor for at denne delen av arbeidet oppleves unødvendig og lite givende. Også her vil opplæring om avfallssortering og gjenvinning - og hvorfor dette er viktig - sannsynligvis hjelpe på motivasjonen, men likevel er *planlegging for lett tilgjengelighet av avfallsstasjon* viktig. Dette bør gjøres i en tidlig fase, med eventuelle planlagte justeringer etter hvert som prosjekter utvikler seg.

Som tidligere nevnt vil opplæring av involverte aktører på alle nivå være en viktig del av arbeidet mot avfallsfrie byggeplasser, men for fraksjonen restavfall vil det være særlig aktuelt med *opplæring knyttet til avfallssortering og gjenvinning*. Opplæringen vil være sentral for å øke kunnskap og motivasjon knyttet til sortering av ulike fraksjoner på byggeplass.

Tabell 15 oppsummerer anbefalte tiltak for reduksjon av avfallsfraksjonen restavfall.

Tabell 15: Anbefalte tiltak for reduksjon av avfallsfraksjonen restavfall.

6-1.	Unngå containere for restavfall
6-2.	Tydelig merking av containere på alle språk
6-3.	Planlegging for lett tilgjengelighet av avfallsstasjon
6-4.	Opplæring knyttet til avfallssortering og gjenvinning

5.1.7 Valg av systemgrenser

Det ble tidlig tydelig at enkelte aspekter ved ambisjonen om avfallsfrie byggeplasser ville handle om valg av systemgrenser. Skal avfallsreduksjonen i prosjektet vurderes isolert eller sees opp mot et større kretsløp? Skal innsatsen først og fremst handle om å redusere vekt eller å redusere mengder? Handler ambisjonen først og fremst om å spare penger eller å spare miljøet? Slike spørsmål vil måtte besvares før en helhetlig løsning implementeres.

Økt sorteringsgrad vil redusere fraksjonen restavfall, en kostbar fraksjon. Dette er et eksempel på et tiltak som kan redusere kostnadene i prosjektet betraktelig. Likevel vil det ikke nødvendigvis hjelpe på den totale avfallsproduksjonen, dersom økt sortering er det eneste tiltaket. Økt sortering er naturligvis fordelaktig, ettersom avfallet i større grad kan materialgjenvinnes, men dette er et tiltak på avfallshierarkiets andre nivå, og i et helhetsperspektiv vil det være ønskelig å redusere fremfor å gjenvinne.

Lukkede containere er en løsning som kan redusere vekten for den aktuelle avfallsfraksjonen, eksempelvis for papp og papir. Dette vil resultere i lavere rapporterte avfallsmengder, og videre lavere kostnader knyttet til avhending av den aktuelle fraksjonen, men vil ikke redusere den faktiske mengden avfall som oppstår.

En annen løsning som ikke nødvendigvis reduserer den totale mengden avfall produsert, er avtaler basert på at *leverandør tar med emballasje tilbake* fra byggeplassen. Også dette tiltaket vil resultere i lavere avfallstall for det aktuelle prosjektet, men i et større perspektiv vil avfallet fremdeles oppstå. Ressursene som ble tatt ut for å produsere materialet som ble kastet ble likevel utvunnet, og transporten av materialet gjennom hele dets livsløp har fremdeles funnet sted.

Diskusjon

Tiltaket vil derfor gi en økonomisk gevinst for det aktuelle prosjektet, gjennom besparelser knyttet til avfallshåndtering. For at tiltaket skal kunne ha en miljømessig gevinst i et helhetsperspektiv, bør emballasjen som returneres gå til ombruk. Dette kan eksempelvis gjøres ved en ordning tilsvarende panteordningen som skissert tidligere.

Ved bruk av *pre-kutt* og *pre-fab* vil avfallsmengdene på prosjektet naturligvis reduseres. Dette gjelder særlig for fraksjonene trevirke og gips, da kapp og tilvirkning av materialer på byggeplass ser ut til å være blant de største kildene til at avfallet oppstår. Likevel vil slike elementer fremdeles generere avfall der de produseres. Det er nærliggende å anta at en mer automatisert og industriell produksjon vil medføre færre feil og mindre avfall; dette nevnes også av flere intervjuobjekter. Litteraturen peker mot potensielle gevinster i form av reduserte materialforbruk, men for å endelig fastslå en størrelsesorden trengs flere studier. Tiltaket vil, i likhet med ovennevnte tiltak, gi økonomiske gevinster for prosjektet - men for å ha en reell gevinst i et miljøperspektiv må tilvirkningen totalt sett produsere mindre avfall. Paradoksalt nok vil økt bruk av pre-kutt, pre-fab og modulære løsninger kunne gi økte avfallsmengder senere i prosjektets levetid, eksempelvis ved rehabilitering. Dette fordi muligheten for ombruk av spesialtilpassede elementer vil være noe lavere enn ved standardiserte elementer og øvrige tilpasningsdyktige løsninger. Dette er nok en vurdering som avhenger av definerte systemgrenser, ettersom løsningene sannsynligvis vil gi avfallsreduksjon i det opprinnelige prosjektet, men skape mer avfall ved en fremtidig rehabilitering og rivning. Datagrunnlag mangler for å kvantifisere effekten av de to tilfellene, og dermed også for å konkludere med hvilket alternativ som er ønskelig.

Tabell 16 oppsummerer tiltak hvor gevinsten avhenger av systemgrensene for prosjektet.

Tabell 16: Tiltak hvor gevinsten avhenger av systemgrensene for prosjektet.

7-1.	Økt sorteringsgrad
7-2.	Lukkede containere
7-3.	Leverandør tar med emballasje tilbake
7-4.	Pre-fab og pre-kutt

5.2 Implementering av tiltak

Dette delkapittelet vil vurdere i hvilke faser av prosjektet det vil være mest hensiktsmessig å implementere hver av de identifiserte tiltakene, i hvilke stadier av produksjonsfasen - og hvilke aktiviteter og prosesser tiltakene i størst grad vil påvirke.

5.2.1 Overordnet avfallsreduksjon

Analyse av avfallsdata fra de ni prioriterte prosjektene viser en merkbar trend. Ettersom datagrunnlaget i analysen av avfallsdata ikke inkluderer en entydig klassifisering av ulike stadier i produksjonen, vil den følgende kategoriseringen ta utgangspunkt i flere benyttede metoder; analyse av data for avfallsmengder, spørreundersøkelse, intervjuer, og uttalelser i forbindelse med seminar, webinar og prosjektbesøk.

Årsaken til at flere prosjekter tilsynelatende ikke leverer avfall i de første månedene av produksjonen kan være at dette er perioden hvor utgraving pågår. Utgraving produserer først og fremst avfall i form av masser, jord og stein; disse avfallsfraksjonene ble, som nevnt, ikke inkludert i analysen av data fra prosjektene. For øvrig er det vanskelig å med sikkerhet forklare enkelte opphold i avfallshåndteringen. Det er flere forhold som kan forklare slike opphold. Pauser som foregår i perioden juni-juli kan være fellesferie. Pauser som foregår i perioden desember-januar kan være juleferie. Andre faktorer kan også påvirke avhendingen av avfall i prosjektet. I et tenkt tilfelle hvor et prosjekt har tømt sine containere ved i slutten av april måned, og mai måned i hovedsak består av montering av pre-fab og lignende, vil dette kunne føre til at containere ikke fylles før sent mai måned. Prosjektet bestiller tømning av containere, men avfallet hentes ikke før tidlig juni. For dette tilfellet vil rapporten vise at prosjektet ikke produserte avfall i mai, men tilfellet er gjennomføring av aktiviteter som medfører mindre avfall.

Det var nødvendig å begrense analysen til ni prosjekter for å begrense omfanget av oppgaven og tilhørende diskusjon. Samtidig, ved å begrense analysen til disse ni prosjektene, kan validiteten og generaliserbarheten av studien reduseres. For å undersøke i hvilken grad dette har påvirket validiteten og generaliserbarheten av studien vil det være nødvendig å inkludere flere prosjekter for en tilsvarende analyse, og se hvorvidt dette endrer resultatet av analysen.

Diskusjon

Mengden av hver enkelt avfallsfraksjon er beregnet med utgangspunkt i *fraksjonenes vekt*, hentet i Grønt Ansvar. Det er derfor vanskelig å konkret vurdere hvordan de utvalgte fraksjonene fordeler seg i volum, da denne informasjonen ikke foreligger. Papp og papir, og plast er fraksjoner med relativt lav massetetthet. Det er derfor nærliggende å anta at de to fraksjonene utgjør en større del av det totale volumet enn analysen indikerer. Det er vanskelig å anslå sammensetningen av fraksjonen restavfall. De fem fraksjonene, fra størst til minst:

- Trevirke
- Gips
- Restavfall
- Papp og papir
- Plast

Avfallet vil, naturlig nok, oppstå på prosjektet før det rapporteres avhendet. Dette innebærer at avfallsfraksjonene som rapporteres i en gitt del av produksjonen oppstod i forkant. Grunnet manglende data knyttet til sammenhengen mellom disse to vil dette ikke diskuteres i detalj.

Tidlig definisjon av hensiktsmessige mål for avfallsproduksjon kan skje så tidlig som i *bearbeiding av konsept*, men det kan være hensiktsmessig å avvente til *detaljprosjektering*, slik at mest mulig informasjon om spesifikke løsninger og planer for gjennomføring foreligger. Dette legger grunnlaget for en informert beslutningsprosess, hvor målet kan være ambisiøst, men gjennomførbart og realistisk. Dette kan også være en egnet fase å etablere en tidlig og tydelig plan for ressursoptimalisering, samt avklaring av rutiner på byggeplass.

Fortløpende måling av avfallsmengder, fortløpende rapportering av avfallsmengder, samt fortløpende og visuell presentasjon av avfallsmengder på byggeplass må, av naturlige årsaker, skje i *produksjonsfasen*. For å utnytte effekten av disse tiltakene til det fulleste anbefales det at måling, rapportering og presentasjon foregår gjennom alle stadier av produksjonen. Det samme vil gjelde arbeidsoppgavene til en dedikert person med ansvar for avfallshåndtering og styring; denne personen kan, og bør, imidlertid utnevnes allerede i *detaljprosjektering*. Et alternativ kan være å ha en ansvarlig for avfallshåndtering som fordeles mellom flere prosjekter, og ikke er knyttet til ett enkelt prosjekt. I så fall vil denne personen, naturlig nok, utnevnes uavhengig av det enkelte prosjektet.

Diskusjon

Rutiner for lagervirksomhet og materialbestilling etter behov må etterleves gjennom produksjonsfasen, men anbefales definert i *detaljprosjekteringen*. Tilsvarende bør eventuelle samarbeid med en ressursbank og panteordninger etableres før produksjonen settes i gang.

Ideelt sett skjer opplæring av involverte aktører på alle nivå uavhengig av enkelte prosjekter, og før det enkelte prosjektet begynner; dersom dette ikke er tilfellet vil det være naturlig å starte opplæringen så snart underentreprenører og leverandører er valgt og kontrahert, dette skjer gjerne ved *bearbeiding av valgt konsept*. Ved opplæring av arkitekter eller andre involverte i tidligere faser, må naturligvis opplæringen også skje i tidligere faser. Da kan det være aktuelt å implementere tiltaket allerede ved *program og konseptutvikling*.

Insentivordninger med bonus-malus bør avklares og kontraktsfestes ved kontrahering, ved *bearbeiding av valgt konsept*. Det samme gjelder eventuelle andre punkter som skal kontraktsfestes ved inngåelse av avtaler med underentreprenører og leverandører. Arbeid med bevisstgjøring og holdningsendring bør også skje så tidlig som mulig. Det samme gjelder involvering av nedstrøms aktører i oppstrøms beslutninger, som bør skje så snart aktørene er kontrahert og innlemmet i prosjektet; gjerne i forbindelse med *bearbeiding av valgt konsept*.

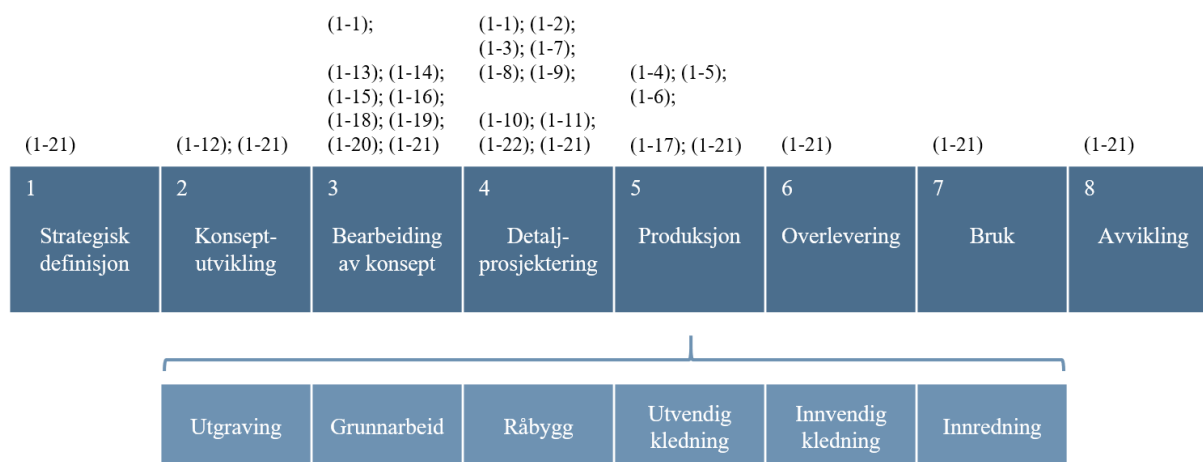
Kontinuerlig inspeksjon av avfallsstasjoner må skje gjennom *produksjon*.

Å etablere en felles digital plattform for alle på prosjektet bør skje tidlig, slik at alle involverte har muligheten til å sette seg inn i gjeldende rammeverk for det aktuelle prosjektet. Tiltaket bør derfor implementeres ved *bearbeiding av valgt konsept*. En felles digital plattform for erfaringsoverføring bør også etableres tidlig, men det vil være særlig viktig at denne videreføres også etter produksjonsfasen; dersom denne i tillegg kan videreføres gjennom bruksfase og avvikling, vil den kunne brukes som referanse også for disse fasene. Planlegging av byggeplass bør skje tidlig, men det er sannsynligvis hensiktsmessig å avvente frem til *detaljprosjektering*, for å forsikre at tilstrekkelig informasjon foreligger - dette for å sikre at begrensninger og muligheter som ønskes overkommet eller utnyttet er kjente.

Inspeksjoner i og av alle prosjektets faser vil, naturlig nok, måtte foregå gjennom alle prosjektets faser. I tidlige faser vil inspeksjonene nødvendigvis måtte være av en mer konseptuell art, mens de i senere faser kan innebære fysisk befarings på byggeplassen.

Diskusjon

Figur 27 oppsummerer anbefalt tidspunkt for implementering av identifiserte tiltak for overordnet avfallsreduksjon gjennom prosjektet. Nummerering av tiltak i henhold til Tabell 10. For overordnet avfallsreduksjon anbefales alle tiltak som skal implementeres i produksjon gjennomført gjennom alle stadier av produksjonsfasen.



Figur 27: Implementering av tiltak for overordnet avfallsreduksjon gjennom prosjektet.

5.2.2 Reduksjon av fraksjonen trevirke

Samtlige datakilder ser ut til å peke på at trevirke oppstår ved råbygg, innvendig og utvendig kledning. Dette stemmer godt med uttalelser som beskriver hvilke prosesser og aktiviteter som skaper avfall i form av trevirke - og hvilke som ikke gjør det. Der trevirke oppstår i innredning identifiseres dette først og fremst som paller i forbindelse med levering av varer.

Valg om økt bruk av digitale verktøy for bestilling av mer nøyaktige mengder materiale kan gjerne skje i svært tidlige faser av prosjektet, men en faktisk implementering av tiltaket anbefales i forbindelse med *bearbeiding av valgt konsept*. Dette vil også være et godt tidspunkt for å involvere andre aktører i prosjektet i satsningen. Bruk av etiketter eller annen radiofrekvensidentifikasjon vil påvirke alle stadier i produksjonen der det leveres trevirke.

Diskusjon

Øremerking av materiale som ankommer byggeplassen vil skje gjennom produksjonsfasen, men tiltaket bør implementeres i *detaljprosjektering* for å sikre at underentreprenører og leverandører som vil berøres av ordningen er informerte og involverte.

Ved bruk av pre-fab og pre-kutt elementer vil selve bestillingen av elementene, som regel, foregå i produksjonsfasen. Avgjørelsen om å benytte disse løsningene vil imidlertid måtte tas tidligere, og tiltaket anbefales derfor implementert ved *bearbeiding av valgt konsept*. Eventuell kontrahering av aktører for lån eller leie av elementer som ikke kan gjenbrukes anbefales gjennomført ved *detaljprosjektering*. Montering for demontering vil, naturlig nok, foregå underveis i selve produksjonen; avgjørelsen bør likevel tas tidligere for å være integrert og forankret i valgte prosesser og aktiviteter gjennom produksjonen. Også dette tiltaket anbefales implementert i tredje fase, *bearbeiding av valgt konsept*.

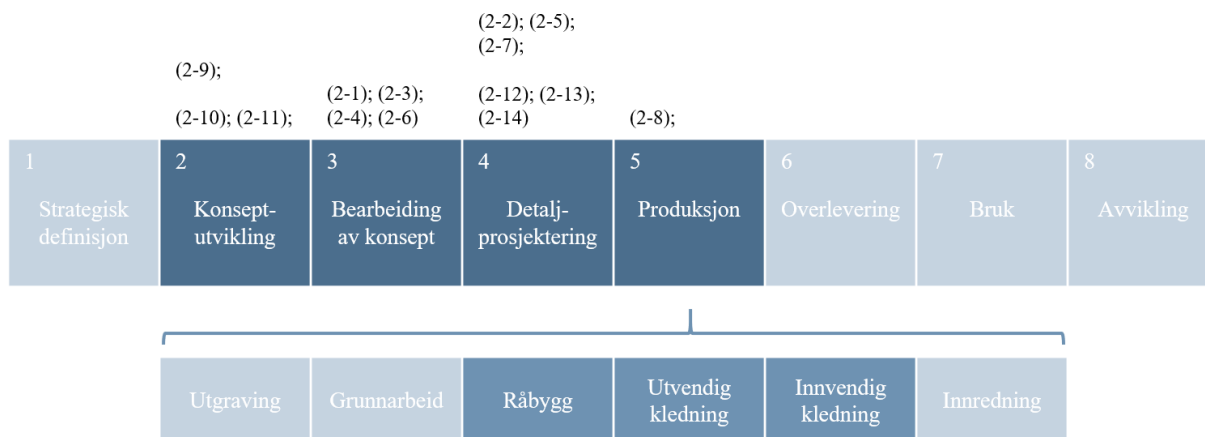
Valg om bruk av Europaller fremfor engangspaller bør tas i forbindelse med valg av leverandører og underentreprenører, og avtaler og avklaringer som gjøres ved etablering av disse samarbeidene. Dette kan være i *bearbeiding av valgt konsept* eller *detaljprosjektering*. Ombruk av Europaller vil skje i *produksjonsfasen*, men bør avklares med andre involverte aktører i forkant. Ettersom Europaller er identifisert å oppstå i store deler av produksjonen, vil også tiltaket være aktuelt å opprettholde i store deler av produksjonen.

Utredning av alternative konsepter for et prosjekt skjer gjerne i andre fase, *program og konseptutvikling*. Det anbefales derfor at design for standardiserte elementer, design for bruk av avkapp og design for delt geometri gjøres i denne fasen.

Lokalt lager for avkapp og ubrukt materiale, samt definering av soner for varelevering bør gis plass i riggplanen, og etableres før produksjonen starter; eksempelvis ved *detaljprosjektering*. Etablering av funksjonelle produksjonslinjer kan være naturlig å gjøre i forbindelse med utforming av produksjonsplan, noe som gjerne gjøres ved *detaljprosjektering*. Også definerte soner for levering av varer bør markeres i riggplan.

Figur 28 oppsummerer anbefalt tidspunkt for implementering av identifiserte tiltak for reduksjon av trevirkeavfall gjennom prosjektet. Nummerering av tiltak i henhold til Tabell 11.

Diskusjon



Figur 28: Implementering av tiltak for reduksjon av trevirke gjennom prosjektet.

5.2.3 Reduksjon av fraksjonen gips

Gips ser ut til å oppstå i siste halvdel periode av produksjonen, og uttalelser peker på at utvendig og innvendig kledning, samt innredning vil være de mest aktuelle stadiene for prosesser og aktiviteter som produserer avfall i form av gips.

Som for trevirke kan valg om økt bruk av digitale verktøy for bestilling av mer nøyaktige mengder materiale gjerne skje i tidlige faser av prosjektet, men praktisk implementering av tiltaket anbefales i forbindelse med *bearbeiding av valgt konsept*. Bruk av etiketter eller annen radiofrekvensidentifikasjon vil påvirke alle stadier i produksjonen der det leveres gips.

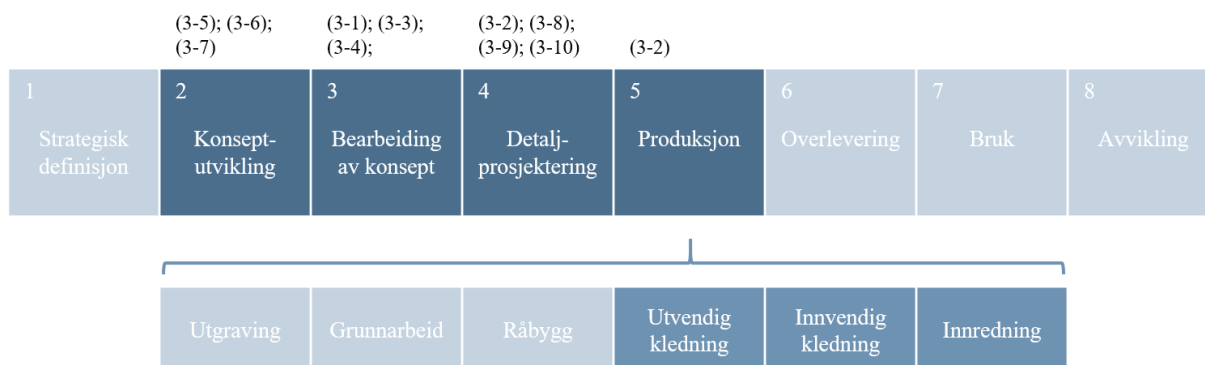
Øremerking av materiale som ankommer byggeplassen vil skje gjennom produksjonsfasen, men tiltaket bør implementeres i *detaljprosjektering* for å sikre at underentreprenører og leverandører som vil berøres av ordningen er informerte og involverte. Bruk av pre-fab og pre-kutt elementer vil påvirke alle stadier av produksjonen der gips leveres; men avgjørelsen om å benytte løsningene anbefales implementert ved *bearbeiding av valgt konsept*. Det anbefales også, som for trevirke, at design for standardiserte elementer, design for bruk av avkapp og design for delt geometri gjøres andre fase, *program og konseptutvikling*.

Lokalt lager for avkapp og ubrukt materiale og definerings av soner for varelevering bør gis plass i riggplanen ved *detaljprosjektering*. Etablering av funksjonelle produksjonslinjer kan

Diskusjon

være naturlig å gjøre i forbindelse med utforming av produksjonsplan; gjerne ved *detaljprosjektering*. Definerte soner for levering av varer bør også inngå i riggplan.

Figur 29 oppsummerer anbefalt tidspunkt for implementering av identifiserte tiltak for reduksjon av gipsavfall gjennom prosjektet. Nummerering av tiltak i henhold til Tabell 12.



Figur 29: Implementering av tiltak for reduksjon av gips gjennom prosjektet.

5.2.4 Reduksjon av fraksjonen papp og papir

Papp og papir ser ut til å først og fremst oppstå i forbindelse med innvendig kledning og innredning, da materialer som skal oppbevares utendørs ofte heller dekkes av plast.

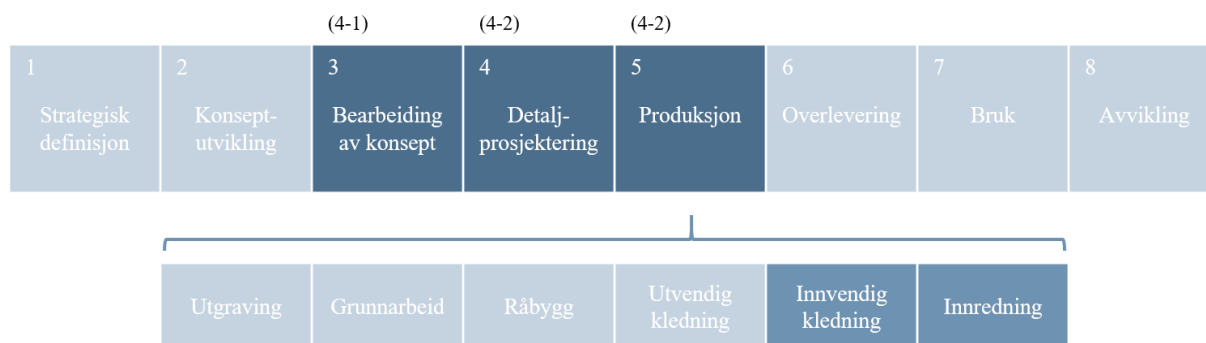
Avtaler med leverandør for færre og større forsendelser bør etableres så tidlig som mulig, slik at den aktuelle leverandøren, i den grad det er gjennomførbart, kan tilpasse sin drift og sine rutiner etter prosjektet. Slike avtaler kan gjerne utarbeides så snart leverandøren er kontrahert, ved *bearbeiding av valgt konsept*.

Lagring av emballasje for bruk til dekke er i seg selv et relativt lite omfattende tiltak, og bør kunne implementeres i *produksjonsfasen*. Det kan, og vil sannsynligvis, være ønskelig å implementere tiltaket som ett av flere tiltak, eksempelvis i kombinasjon med andre tiltak som krever mellomagring av materialer på byggeplassen. I så fall anbefales det å implementere også dette tiltaket i forbindelse med *detaljprosjektering*.

Diskusjon

Dersom prosjektet ønsker å benytte emballasje for flergangsbruk må dette avklares med aktuelle underentreprenører og leverandører; derfor anbefales det at tiltaket implementeres så snart de relevante aktørene er involvert i prosjektet, *detaljprosjektering*.

Figur 30 oppsummerer anbefalt tidspunkt for implementering av identifiserte tiltak for reduksjon av papp og papir gjennom prosjektet. Nummerering av tiltak i henhold til Tabell 13.



Figur 30: Implementering av tiltak for reduksjon av papp og papir gjennom prosjektet.

5.2.5 Reduksjon av fraksjonen plast

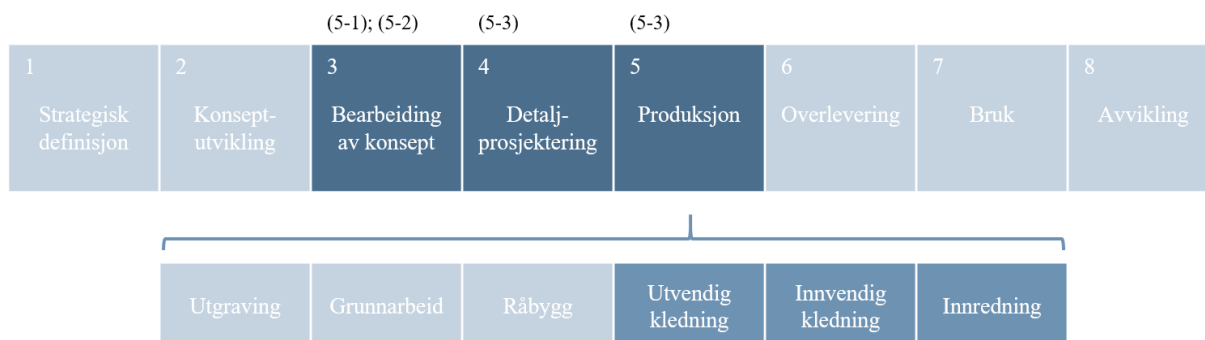
Plast ser ut til å oppstå omtrent samtidig som gips, men avhendes deretter ofte ut gjennom produksjonen; dette kan stemme med intervjuobjektors oppfatning av at plast kan oppstå i forbindelse med leveranser i innredning.

Som for papp og papir vil eventuelle avtaler med leverandør for færre og større forsendelser være hensiktsmessig å avklare tidlig, gjerne ved *bearbeiding av valgt konsept*. Det samme gjelder avtaler med leverandør om bruk av alternative materialer. Ideelt sett kan slike avtaler gjerne defineres også uavhengig av hvert enkelt prosjekt.

Dersom prosjektet ønsker å benytte emballasje for flergangsbruk må dette avklares med aktuelle underentreprenører og leverandører; tiltaket bør implementeres i *detaljprosjektering*. Oppfølging av et slikt tiltak vil måtte skje gjennom alle stadier av produksjonen der avfall i form av plast oppstår; identifisert som utvendig kledning, innvendig kledning og innredning.

Diskusjon

Figur 31 oppsummerer anbefalt tidspunkt for implementering av identifiserte tiltak for reduksjon av plast gjennom prosjektet. Nummerering av tiltak i henhold til Tabell 14.



Figur 31: Implementering av tiltak for reduksjon av plast gjennom prosjektet.

5.2.6 Reduksjon av fraksjonen restavfall

Restavfall ser ut til å oppstå gjennom alle stadier av produksjonen; men ofte i større grad i senere stadier. Dette gjenspeiles, naturlig nok, også i sorteringsgraden. Dette stemmer med oppfatningen blant intervjuobjektene, som peker på mer sammensatte elementer, flere involverte aktører og større tidspress som mulige årsaker til lavere sorteringsgrad, særlig i senere stadier av produksjonen.

Dersom prosjektet planlegger å unngå containere for restavfall kan det være hensiktsmessig å inkludere dette i avfallsplanen for prosjektet, som ofte utarbeides i *detaljprosjektering*. Det anbefales også å kommunisere dette til alle involverte i prosjektet tidlig, slik at de kan justere og koordinere sine egne aktiviteter og prosesser i henhold til de valgene som tas.

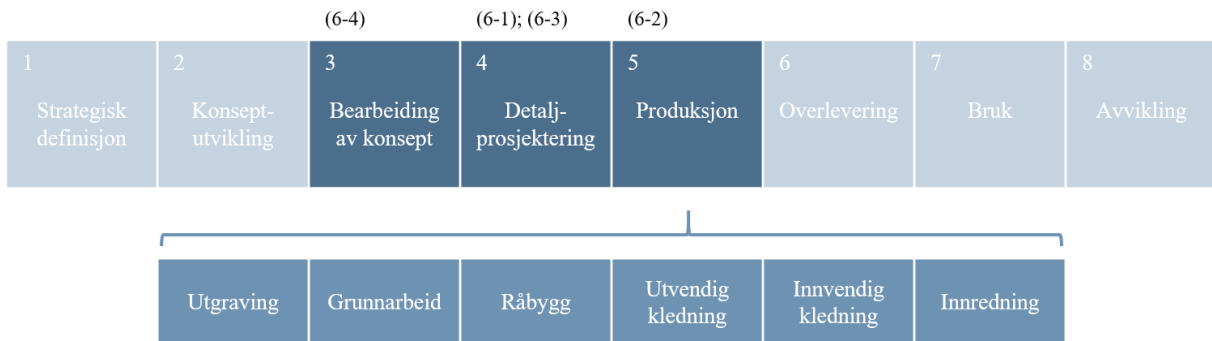
Tydelig merking av containere trenger i utgangspunktet ikke forberedes utover printing eller bestilling av merkelapper, det holder derfor at tiltaket implementeres i *produksjonsfasen*. Restavfall er anslått å oppstå i alle faser av produksjonen, og tiltaket anbefales derfor oppfulgt gjennom hele produksjonsfasen.

Planlegging for lett tilgjengelighet av avfallsstasjon bør skje i forbindelse med utarbeiding av riggplan; som nevnt skjer dette gjerne i *detaljprosjektering*.

Diskusjon

Opplæring knyttet til avfallssortering og gjenvinning er særlig viktig i forbindelse med restavfall, da feilsortering kan skje som følge av manglende kunnskap og erfaring. Opplæring bør skje så snart underentreprenører og leverandører er kontrahert, ved *konseptbearbeiding*.

Figur 32 oppsummerer anbefalt tidspunkt for implementering av identifiserte tiltak for reduksjon av restavfall gjennom prosjektet. Nummerering av tiltak i henhold til Tabell 15.



Figur 32: Implementering av tiltak for reduksjon av restavfall gjennom prosjektet.

5.3 Bruk av kunstig intelligens

Dette delkapittelet vil utforske hvordan kunstig intelligens kan bidra i implementeringen av tiltakene, ved å utforske relevant teknologi og relevante verktøy for hvert enkelt tiltak.

5.3.1 Overordnet avfallsreduksjon

Tidlig definisjon av hensiktsmessige mål for avfallsproduksjon kan gjøres ved hjelp av *maskinlæring*. Ved regresjon kan maskinlæringsalgoritmen anslå en egnet tallverdi med utgangspunkt i data fra tidligere prosjekter og deres avfallstall. Ideelt sett har maskinen i dette tilfellet tilgang på tilstrekkelig data fra sammenlignbare prosjekter, og dermed tilstrekkelig data for både treningssett, valideringssett og testsett. Dersom modellen har nok treningsdata til å skille hensiktsmessige størrelser for hver enkelt fraksjon og hver enkelt aktør er dette naturligvis ønskelig; men dette stiller store krav til tilgjengelige mengder data. *Evolusjonære algoritmer* krever mindre domenespesifikk informasjon, og kan være en alternativ tilnærming der manglende datagrunnlag er problematisk for en maskinlæringsalgoritme. Definisjon av mål for avfallsproduksjon er svært sammensatt - det kan derfor være hensiktsmessig å benytte *hybridsystemer*, og dermed, for eksempel, kombinere teknikker innen maskinlæring og evolusjonære algoritmer.

I forbindelse med utforming av plan for ressursoptimalisering kan en variant av *generativ design* understøttet av *maskinlæring* benyttes, for å utforske og velge mellom et stort antall alternative planer. Dette vil, nok en gang, forutsette tilstrekkelige mengder data for et tilfredsstillende resultat.

Tidlig og tydelig avklaring av rutiner på byggeplass vil i hovedsak være en analog innsats, og handler først og fremst om tydelig kommunikasjon mellom de involverte aktørene. Det vil imidlertid være aktuelt å benytte enkelte digitale verktøy basert på kunstig intelligens; eksempelvis *Unity Reflect* eller *Autodesk Construction Cloud* som støtte i utforming eller kommunikasjon av rutiner.

Til fortløpende måling av avfallsmengder kan *sensorer* og *visuell databehandling* benyttes. Denne typen verktøy kan installeres i og rundt avfallsstasjoner og containere, og her bidra til å

Diskusjon

veie avfallsmengder, visuelt anslå gjenstående plass i containere og så videre. Den største gevinsten ved bruk av kunstig intelligens vil sannsynligvis ligge i et eventuelt systems evne til å kommunisere, eksempelvis, med fremdriftsplanen. Et *hybridsystem* bygget på *maskinlæring* og *evolusjonære algoritmer* vil kunne anslå neste nødvendige tømning av containeren, og varsle den ansvarlige. Dette vil kunne bidra til å spare tid på avhending av avfallet. I tillegg vil systemer som *ALICE* kunne bidra til en slik oppfølging. Når et system for fortløpende måling av avfallsmengder er etablert vil det være relativt enkelt å benytte eksisterende, etablerte, digitale verktøy til rapportering og presentasjon av avfallsmengdene.

En dedikert person med ansvar for avfallshåndtering og styring vil i utgangspunktet ikke være et tiltak som er aktuelt for implementering ved hjelp av kunstig intelligens - dersom denne personen skal erstattes med kunstig intelligens vil det være nødvendig å konkret definere hver enkelt arbeidsoppgave denne personen ville hatt, og videre velge teknikker som best mulig ivaretar funksjonene den ansvarlige ville hatt ansvar for.

Etablering av rutiner for lagervirksomhet og materialbestilling etter behov kan, til dels, gjøres ved hjelp av kunstig intelligens. Rutiner for lagervirksomhet kan utformes med utgangspunkt i informasjon innhentet av *sensorer* og kameraer for *visuell databehandling* og *datasyn*, eksempelvis støttet av *maskinlæring*, gjerne i form av *dyp læring*. Eventuelt kan rutiner etableres etter anbefalinger basert på *generativt design*, eksempelvis for støtte i valg av layout for lager. Selve bestillingen vil, strengt tatt, også kunne gjøres av en kunstig intelligens - eksempelvis en programvare-robot, basert på *naturlig språkbehandling*, tilsvarende det en kan møte i en kundeservice-funksjon. Det som imidlertid ansees mer hensiktsmessig, er å benytte kunstig intelligens til å estimere når neste bestilling bør skje, som ved planlegging av avhending.

Samarbeid med en ressursbank og panteordninger er ikke i seg selv tiltak egnet for bruk av kunstig intelligens. Dersom det skulle etableres et system for alle brukere av disse kunne enkelte teknikker vært aktuelle; men dette ansees utenfor omfanget av denne oppgaven.

Ved opplæring av involverte aktører kan kunstig intelligens benyttes i kombinasjon med VR og AR, for å la de aktuelle aktørene trene på simulerte situasjoner og problemstillinger før de fysisk ankommer byggeplassen. Kunstig intelligens kan åpne for at menneskene faktisk får interagere med de virtuelle omgivelsene, og dermed danne et godt grunnlag for gode rutiner og

Diskusjon

gode valg på byggeplassen. En slik øvelse vil også kunne bidra til økt bevisstgjøring og -potensielt - holdningsendring, eksempelvis gjennom visualisering av forventede gevinster.

Insentivordninger med bonus-malus ser i utgangspunktet ikke ut til å dra nytte av kunstig intelligens. Det samme gjelder inngåelse av avtaler med underentreprenør og leverandører.

Kontinuerlig inspeksjon av avfallsstasjoner kan gjøres ved hjelp av *sensorer*, kamera og *visuell databehandling*. Dette vil bidra til å frigjøre menneskelig arbeidskraft, som kan benyttes til å vedlikeholde andre funksjoner relatert til avfallsreduksjon og avfallshåndtering. *Doxels* løsning er et eksempel på hvordan inspeksjon av byggeplassen kan gjøres ved hjelp av autonome *roboter*, som kommuniserer med større systemer basert på *maskinlæring* eller *kunnskapsbaserte systemer*. Det vil være hensiktsmessig å koble en slik løsning opp mot BIM og en *digital tvilling*, slik at involverte aktører kan sjekke fremdriften, gjerne i sanntid.

En felles digital plattform for alle på prosjektet vil være hensiktsmessig å benytte som plattform for alle øvrige utnyttelser av kunstig intelligens. Det kan være hensiktsmessig å benytte en *digital tvilling* som utgangspunkt for en slik plattform. Dersom alle systemer, modeller, sensorer og programmer kan kommunisere med denne plattformen, vil den kunne bli en uvurderlig ressurs i produksjon og kommunikasjon mellom aktørene. En slik plattform kan - og bør - også kobles opp mot en felles digital plattform for erfaringsoverføring.

Involvering av nedstrøms aktører i oppstrøms beslutninger anbefales først og fremst implementert ved bruk av aktuelle samspillselementer, som nevnt i tidligere delkapittel.

I tidlige faser av prosjektet kan inspeksjoner gjennomføres ved hjelp av teknologi som AR og VR, understøttet av kunstig intelligente teknikker som åpner for interaksjon mellom brukeren og omgivelsene. Dette vil være særlig nyttig i de aller tidligste fasene, ettersom konsepter og design gjerne fremstår mest virkelighetsfjernt i nettopp disse fasene. Et slikt miljø vil også kunne benyttes til inspeksjoner i senere faser av prosjektet, dersom de, eksempelvis, kobles opp ved BIM som oppdateres kontinuerlig. I så fall kan behovet for fysiske befaringer på byggeplassen potensielt elimineres fullstendig. Behovet for fysiske befaringer på plassen kan også reduseres ved bruk av autonome *roboter*, kombinert med kamerateknologi, sensorer og *datasyn*. Planlegging av byggeplass anbefales ved bruk av *generativt design*.

5.3.2 Reduksjon av fraksjonen trevirke

Økt bruk av digitale verktøy for bestilling av mer nøyaktige mengder materiale bør implementeres gjennom økt bruk av BIM, ikke nødvendigvis kunstig intelligens. Verktøy som *Imerso* vil potensielt kunne bidra i implementeringen av tiltaket, og kan eksempelvis bidra til økt nøyaktighet i tilvirkning og montering, varsling ved avvik fra BIM - og ikke minst åpne for muligheten til kommunikasjon mellom aktører som arbeider parallelt i ulike områder av prosjektet.

Øremerking av materiale som ankommer byggeplassen kan skje ved bruk av etiketter som BEAst Label. Dersom nøyaktig tiltenkt plassering av materialer og varer som ankommer plassen fra før av er definert i BIM, kan etikettene eksempelvis inneholde informasjon om dette. Etikettene kan også inneholde informasjon om eventuell tilvirkning eller montering, som en ekstra støtte for montøren som skal håndtere det aktuelle materialet. All informasjon bør også være inneholdt i den *digitale tvillingen* for det aktuelle prosjektet. Øremerking kan også utvides til å gjelde funksjoner utover produksjon og tilvirkning, eksempelvis avhending. Dersom øremerkingen også kan tolkes på avfallsstasjonen, vil dette kunne være nok et lag av kontroll ved avhending.

Det ligger sannsynligvis ingen reell gevinst i automatisering av selve bestillingen av pre-fab-elementer og pre-kutt-elementer; det antas imidlertid å ligge betydelige gevinster i design for økt bruk av pre-fab og pre-kutt. Det kan i tidlige faser av prosjektet være aktuelt å benytte *generativt design* for økt innovasjon og utvikling av nye løsninger, eller *parametrisk design* for beslutningsstøtte og inspirasjon. Dersom produksjonen blir flyttet *off-site*, og industrialiseres, kan det være aktuelt å benytte autonome *roboter* til tilvirkning av hvert enkelt element. Dette forutsetter naturligvis en BIM - eller annen digital tvilling - som kan kommunisere med robotene.

Ved hjelp av *generativt* og *parametrisk* design kan også muligheter for lån eller leie av elementer som ikke kan gjenbrukes utforskes. Montering for demontering vil foregå fysisk, og sannsynligvis uten støtte fra kunstig intelligens; forutenom eventuell opplæring i forbindelse med monteringen. Eventuelt kan *generativt design* eller *parametrisk design* benyttes i tidligere

Diskusjon

faser av prosjektet, for å finne og foreta designvalg som legger til rette for montering for demontering.

Det er nærliggende å anta at bruk av Europaller fremfor engangspaller og ombruk av Europaller på byggeplassen i all hovedsak vil være analoge tiltak.

Design for standardiserte elementer, design for bruk av avkapp og design for delt geometri anbefales også implementert ved hjelp av *generativt* og *parametrisk design*. Ved å definere begrensninger og parametre i henhold til de definerte designprinsippene kan teknikkene bidra til å finne kreative og nyskapende løsninger, og i tur redusere avfallet på byggeplassen.

Etablering av lokalt lager for avkapp og ubrukt materiale vil i praksis skje analogt, men kunstig intelligens kan, som skissert i tidligere avsnitt, benyttes som støtte for lagerstyring.

Definisjon av funksjonelle produksjonslinjer og aktuelle soner for levering av varer kan også defineres i forbindelse med riggplanlegging og øvrig design av layout for byggeplassen; i så tilfelle kan *generativt design* benyttes også for dette tiltaket. For dette tiltaket kan det, i større grad enn for mindre sammensatte problemstillinger, være utfordrende å samle riktige og tilstrekkelige data. Det vil også, som for øvrige tiltak, være essensielt å kombinere både etablerte verktøy - teknikker fra trimmet bygging, samspillselementer, industrialisering og modularisering - for å finne den totalt sett beste løsningen for prosjektet.

5.3.3 Reduksjon av fraksjonen gips

For økt bruk av digitale verktøy for bestilling av mer nøyaktige mengder materiale og øremerking av materiale som ankommer byggeplassen anbefales samme retningslinjer som for trevirke; aktiv bruk av BIM og *digital tvilling*, samt aktiv kommunikasjon mellom modellen og den fysiske byggeplassen.

Selve bestillingen av pre-fab-elementer og pre-kutt-elementer vil, strengt tatt, kunne gjøres av en kunstig intelligens, men det antas ingen reell gevinst i dette. Det som imidlertid ansees mer hensiktsmessig er, som beskrevet, å eventuelt benytte kunstig intelligens til å estimere når neste bestilling bør skje - samt bruk av *generativ* og *parametrisk design* for designvalg som fasiliterer

Diskusjon

løsninger i form av pre-fab og pre-kutt. Bruk av *generativ* og *parametrisk design* ved design for standardiserte elementer, design for bruk av avkapp og design for delt geometri anbefales også for gips.

Et lokalt lager for avkapp og ubrukt materiale vil for gips, i større grad enn for trevirke, være prisgitt omgivelsene på prosjektet. Gips er et skjørt materiale, og tåler i mindre grad fukt og andre påkjenninger. I tillegg til overordnet lagerstyring anbefales derfor bruk av *sensorer*, og eventuelt *visuell databehandling* for å overvåke nivåer av fukt og lignende. Funksjonelle produksjonslinjer og definerte soner for levering av varer bør implementeres som for trevirke.

5.3.4 Reduksjon av fraksjonen papp og papir

Tiltakene for papp og papir anbefales isolert sett å beholdes analoge, ettersom de forventede gevinstene ved implementering av kunstig intelligens for enkelte tiltak ikke er større enn de forventede gevinstene ved bruk av mer etablerte tilnærminger og teknikker. *Maskinlæring* kan benyttes som en del av et større system for beslutningsstøtte i forbindelse med bestilling og levering, og utvides til å inkludere utarbeidelsen av avtaler for færre og større forsendelser. Det vil også kunne være aktuelt å utnytte enkelte teknikker klassifisert som *kunnskapsbaserte systemer*. Disse har svakere evne til læring og oppdagelse av ny kunnskap, men er til gjengjeld langt mer transparente, noe som kan bidra til økt tillit mellom bruker og maskin. Dette kan gjøre kunnskapsbaserte systemer til en aktuell kandidat i en overgangsfase.

Lagring av emballasje for bruk til dekke kan inngå i løsninger for lokal lagring av annet ubrukt materiale, og utnytte de samme teknikkene som lagerstyringen for øvrig. Det samme anbefales emballasje for flergangsbruk, dersom dette ikke organiseres gjennom leverandør.

5.3.5 Reduksjon av fraksjonen plast

For inngåelse av avtaler med leverandør for færre og større forsendelser gjelder samme retningslinjer som for papp og papir. Ved avtale med leverandør om bruk av alternative materialer kan *maskinlæring* utnyttes i valget av aktuelle materialer, ved at input som miljøpåvirkning, vekt, motstandsdyktighet og lignende legges til grunn.

Emballasje for flergangsbruk organiseres som for papp og papir.

5.3.6 Reduksjon av fraksjonen restavfall

Å unngå containere for restavfall, samt merking av containere er i utgangspunktet ikke tiltak som hverken behøver eller bør involvere kunstig intelligens. Planlegging for tilgjengelighet av avfallsstasjonen kan gjøres ved hjelp av *generativt design*, eksempelvis i forbindelse med øvrig riggplanlegging, som skissert i forrige delkapittel. I planleggingen kan det også være hensiktsmessig å designe varianter som korresponderer med hver av stadiene i produksjonen, slik at tilgjengeligheten opprettholdes helt frem til overlevering.

Opplæring knyttet til avfallssortering og gjenvinning, kan, i likhet med generell opplæring av aktører, gjøres ved hjelp av kunstig intelligens i kombinasjon med VR og AR.

5.3.7 Implementering av kunstig intelligens

Økt bruk av kunstig intelligens i byggeprosjektet vil være langt mer omfattende enn å bare anvende nye verktøy og teknikker. Samspillet mellom prosess, menneske og teknologi kan være av avgjørende betydning for en vellykket implementering av kunstig intelligens. Brukervennlighet og tillit mellom menneske og maskin ser ut til å stå særlig sentralt. Dette kan bli viktig, ettersom mange involverte aktører ikke har erfaring eller kjennskap til denne typen verktøy; dette vil stille enda større krav til både brukervennlighet og tillit mellom de involverte partene. Brukerfeil ved bruk av teknikker basert på kunstig intelligens åpner for at menneskelige feil kan skje, også i et miljø med kunstig intelligens.

Enkelte er skeptiske til hvordan økt bruk av kunstig intelligens vil påvirke arbeidsflyten og arbeidskulturen på byggeplassen. Det er naturligvis ikke ønskelig at bruk av kunstig intelligens skal gå på bekostning av arbeidsmoral og motivasjon blant de menneskelige arbeiderne. En evaluering av nettopp dette aspektet vil derfor være en viktig del av en mulighetsstudie for implementering på den enkelte byggeplassen. Det anbefales å involvere arbeidere innen de aktuelle fagområdene i utvikling av systemer basert på kunstig intelligens; dette vil kunne bidra i utvikling av systemer hvor mennesker skal være direkte involvert, så vel som i systemer som skal arbeide autonomt og uavhengig av andre arbeidere.

Diskusjon

Flere trekker også frem manglende mengder data, og manglende struktur og kvalitet i allerede eksisterende data. Å bearbeide tilgjengelige data for bruk til utvikling av kunstig intelligens, eksempelvis i maskinlæring, er en ressurskrevende prosess. Det vil derfor være hensiktsmessig å også foreta en vurdering av hvordan data bør samles inn for å nyttiggjøres best mulig til ønskede bruksområder. En slik vurdering kan - og bør - foregå i forkant av en fysisk implementering og investering i ønskede teknikker.

Enkelte deler av undersøkelsene antyder et ønske om å bruke kunstig intelligens fordi dette er nytt og spennende. Det anbefales likevel at kunstig intelligens kun benyttes der det faktisk sees hensiktsmessig. Å implementere løsninger basert på kunstig intelligens kan være en ressurskrevende prosess, i form av både tid og kostnad. Derfor er det viktig å vite at implementeringen på sikt vil kunne gi en reell gevinst for den aktuelle aktiviteten. En annen, viktig forholdsregel ved implementering av kunstig intelligens vil være å sikre at teknologien vil kunne være etterprøvbar, transparent og sikker. Teknologien bør være motstandsdyktig nok til å tåle visse endringer i omgivelsene, og ved implementering bør potensielle hendelser kartlegges: endringer i omgivelser og forutsetninger, eller hacking.

Flere uttaler en usikkerhet knyttet til etiske aspekter ved økt bruk av kunstig intelligens i byggeprosjekter. Enkelte intervjuobjekter er særlig skeptiske til det menneskelige aspektet. Hvilke motiver ligger til grunn hos menneskene som designer, utformer og benytter kunstig intelligens? I tillegg trekkes etikken i kunstige intelligente systemer frem. Hvordan skal disse behandles? Hvilke etiske problemstillinger skal systemene selv få kontroll over? Forskningen peker mot at det er mange spørsmål og problemstillinger som bør besvares i forbindelse med storskala implementering av kunstig intelligente systemer. For enkelte spørsmål vil det ikke være et felles riktig svar - kanskje ikke et entydig riktig svar i det hele tatt - og det vil derfor være avgjørende at hver enkel prosjektorganisasjon eller virksomhet tar en vurdering av aktuelle spørsmål og problemstillinger med utgangspunkt i sin utvikling og drift.

Uttalelser fra intervjuobjekter tyder på at bransjen per dags dato i all hovedsak arbeider på første innovasjonsnivå innen digitalisering: automatisering og effektivisering. Enkelte prosjekter og prosesser befinner seg på andre innovasjonsnivå, men dette er i pilotskala. Flere intervjuobjekter peker på at det vil være nødvendig å arbeide mot andre og tredje nivå dersom bransjen skal drives bærekraftig, og kunne utnytte det maksimale potensialet i teknologien. For

Diskusjon

å virkelig utnytte potensialet som ligger i avfallsreduksjon og kunstig intelligens vil det sannsynligvis være nødvendig å etterstrebe et tredje innovasjonsnivå, og redefinere kontraktsformene, forretningsmodellene og gjennomføringsmodellene som benyttes i dag. Dette er en stor oppgave, og bør involvere sentrale aktører i alle ledd av verdikjeden.

5.4 Bærekraft i prosjektet

Dette delkapittelet vil se nærmere på hvordan de identifiserte tiltakene kan bidra til økt bærekraft for alle tre pilarer: økonomisk, miljømessig og sosial bærekraft.

5.4.1 Økonomiske gevinster

Avfallsreduksjonen vil i første omgang medføre et redusert ressursforbruk. Dette vil kunne forplante seg som redusert sløsing i alle syv kategorier tidligere omtalt. Tett forbundet med et redusert forbruk av ressurser er *reduserte kostnader knyttet til innkjøp av materialer*, samt *reduserte kostnader knyttet til tilvirkning og intern transport av materialer*. Med redusert generering av avfall kommer følger naturlig nok også *reduserte kostnader knyttet til avhending av materialer*. Videre følger *reduserte timeverk som følge av redusert sløsing*, gjennom redusert tidsbruk knyttet til håndtering av unødvendige materialer.

Betydelige besparelser forventes, særlig i større prosjekter. Samtidig vil det være nærliggende å anta en viss investeringskostnad knyttet til en eventuell satsing på avfallsfrie byggeplasser og tilhørende tiltak; for mindre prosjekter kan det derfor være aktuelt å gjennomføre en nytte-kostnadsanalyse ved implementering av enkelte tiltak.

Blant mer indirekte konsekvenser av avfallsreduksjonen forventes et godt omdømme for den aktuelle organisasjonen. Dette skyldes i hovedsak et stadig økende fokus på miljø og klima, både blant øvrige virksomheter og kundene - og en velvilje for såkalte grønne organisasjoner, som øker i takt med miljøfokus. Målbare effekter av miljøkrav i produksjon kan benyttes for å bygge omdømme eksternt, bygge motivasjon internt, og på sikt gi organisasjonen en *forbedret markedsposisjon*. En grønn omstilling vil videre gjøre organisasjonen i stand til å møte fremtidige krav og etterspørsel, fra både marked og myndigheter. Kombinasjonen av disse faktorene vil etter all sannsynlighet resultere i *økt konkurransekraft*, noe som på sikt kan bidra til å sikre en gunstig markedsposisjon. En overordnet økonomisk gevinst forventes i form at økt driftsmargin i et langsiktig perspektiv. Dette vil bidra til økonomisk bærekraft, både i prosjektorganisasjonen og i virksomheten for øvrig.

Tabell 17 oppsummerer forventede økonomiske gevinster ved avfallsreduksjon.

Diskusjon

Tabell 17: Forventede økonomiske gevinster ved avfallsreduksjon.

8-1.	Reduserte kostnader knyttet til innkjøp av materiale
8-2.	Reduserte kostnader knyttet til tilvirkning og intern transport av materialer
8-3.	Reduserte kostnader knyttet til avhending av materialer
8-4.	Reduserte timeverk som følge av redusert sløsing
8-5.	Forbedret markedsposisjon
8-6.	Økt konkurransekraft

5.4.2 Miljømessige gevinster

En direkte konsekvens av reduserte avfallsmengder er, som nevnt, et *redusert forbruk av ressurser*. Dersom avfallsmengden minimeres, vil nødvendig innkjøpsvolum reduseres, og reduksjonen vil forplante seg i hele materialstrømmen. Resultatet blir reduserte utslipp i hele materialstrømmen. Intervjuobjekter nevner spesielt *reduserte utslipp knyttet til utvinning av råstoffer til bruk i materialer og reduserte utslipp knyttet til transport av materialer*.

Beregningseksempelen viser at besparelsene for hver enkelt fraksjon i hvert enkelt prosjekt er relativt liten sammenlignet med totalt nasjonalt utslipp. Konverteringsfaktoren som benyttet er generisk, og vil derfor ikke nødvendigvis gi et nøyaktig estimat for den faktiske besparelsen. Det vil også være variasjoner knyttet til prosjektenes geografiske lokasjon. For å oppnå en betydelig gevinst i form av utslippsreduksjon gjennom minimering av avfall vil det være viktig å ta tak i både flere fraksjoner og flere prosjekter.

Tabell 18 oppsummerer forventede miljømessige gevinster ved avfallsreduksjon.

Tabell 18: Forventede miljømessige gevinster ved avfallsreduksjon.

9-1.	Redusert forbruk av ressurser
9-2.	Reduserte utslipp knyttet til utvinning av råstoffer til bruk i materialer
9-3.	Reduserte utslipp knyttet til transport av materialer

5.4.3 Sosiale gevinster

En felles oppfatning blant flertallet av intervjuobjektene ser ut til være at en avfallsfri byggeplass er en ryddig byggeplass. Og en ryddigere byggeplass kan gi *økt sikkerhet for arbeiderne på byggeplassen*, da dette bidrar til å redusere sannsynligheten for at ulykker skjer. En ryddig byggeplass kan i tillegg antas å bidra til en forbedret opplevelse av de fysiske omgivelsene på byggeplassen, noe som i tur kan bidra til *bedre arbeidsmiljø på byggeplassen*. Involvering og motivering av de ansatte som en del av satsingen kan også bidra til engasjerte ansatte, og på sikt skape en attraktiv arbeidsplass.

Bruk av pre-kapp og pre-fab fører til et *reduisert behov for bruk av anleggsmaskiner og utstyr* på byggeplassen, og reduserer derfor sannsynligheten for ulykker relatert til disse prosessene. Å redusere behovet for arbeid med utstyr, særlig vibrerende utstyr, kan også være gunstig med tanke på helserelaterte plager arbeidere i bransjen opplever. En sikker og attraktiv arbeidsplass vil på sikt kunne bidra til *økt rekruttering*, til organisasjonen så vel som bransjen for øvrig; en vesentlig samfunnsmessig gevinst.

Tabell 19 oppsummerer forventede sosiale gevinster ved avfallsreduksjon.

Tabell 19: Forventede sosiale gevinster ved avfallsreduksjon.

10-1. Økt sikkerhet for arbeiderne på byggeplassen
10-2. Bedre arbeidsmiljø på byggeplassen
10-3. Redusert behov for bruk av anleggsmaskiner og utstyr
10-4. Økt rekruttering

6 Konklusjon

Oppgaven har kartlagt relevante tiltak for avfallsreduksjon med utgangspunkt i utvalgte fraksjoner: trevirke, gips, papp og papir, plast og restavfall. Anbefalte retningslinjer for implementering i prosjektet er definert, sammen med aktuelle teknikker innen kunstig intelligens som kan bidra ved implementeringen. Til slutt er forventede implikasjoner for bærekraft beskrevet. Dette kapittelet vil oppsummere funnene, med utgangspunkt i definerte forskningsspørsmål:

1. Hvilke tiltak er relevante for reduksjon av prioriterte avfallsfraksjoner?
2. Hvordan kan de identifiserte tiltakene implementeres?
3. Hvordan kan kunstig intelligens bidra i implementeringen av tiltakene?
4. Hvordan kan de identifiserte tiltakene bidra til økt bærekraft i prosjektet?

Konklusjonen er trukket på bakgrunn av det teoretiske rammeverket fra litteratursøket, analyse av data, samt funn fra spørreundersøkelse, intervjuer, og øvrig datainnsamling.

6.1 Tiltak for avfallsreduksjon

Totalt 60 tiltak for avfallsreduksjon på byggeplassen ble identifisert. Av disse tiltakene er 22 tiltak for overordnet avfallsreduksjon, 14 tiltak for reduksjon av trevirke, ti tiltak for reduksjon av gips, tre tiltak for papp og papir, tre tiltak for plast, og fire tiltak for restavfall. I tillegg ble fire tiltak hvor gevinsten vil avhenge av systemgrensene for prosjektet identifisert.

For overordnet avfallsreduksjon anbefales blant annet tidlig definisjon av hensiktsmessige mål for avfallsproduksjon, tidlig og tydelig plan for ressursoptimalisering og avklaring av rutiner på byggeplass, samt fortløpende måling, rapportering og presentasjon av avfallsmengder på byggeplassen. Videre anbefales en dedikert person med ansvar for avfallshåndtering, samt tydelige rutiner for lagervirksomhet og materialbestilling. Opplæring av alle involverte på byggeplassen vil også være sentralt.

Konklusjon

For reduksjon av fraksjonene trevirke og gips anbefales økt bruk av digitale verktøy for bestilling av mer nøyaktige mengder materiale, samt øremerking av materiale som ankommer byggeplassen. Økt bruk av pre-fab og pre-kutt anbefales også for begge fraksjoner. For fraksjonene papp og papir og plast anbefales avtale med leverandør for færre og større forsendelser. For å øke sorteringsgraden og redusere fraksjonen restavfall anbefales tydelig merking av containere på alle språk, samt planlegging for lett tilgjengelighet av avfallsstasjon. Å unngå containere for restavfall har også vist seg effektivt.

Enkelte tiltak vil gi gevinster avhengig av systemgrensene for prosjektet. Herunder løsninger hvor leverandør tar med emballasje tilbake, eller økt bruk av pre-fab og pre-kutt fremfor tradisjonell tilvirkning på byggeplassen. Disse løsningene vil redusere avfall og kostnader på byggeplassen, men fremdeles produsere avfall i et helhetsperspektiv. Implementering av disse tiltakene bør gjøres etter evaluering av antatte gevinster for det aktuelle prosjektet.

6.2 Implementering av tiltak

Analyse av avfallsdata fra ni utvalgte prosjekter viser en merkbar trend i avfallsproduksjonen for de aktuelle prosjektene. Dette gir en indikasjon på hvilke stadier av produksjonen - ved utgraving, grunnarbeid, råbygg, utvendig kledning, innvendig kledning eller innredning - at tiltak for den enkelte fraksjonen bør innføres.

Med utgangspunkt i fasenormen «Neste Steg» anbefales aktuelle prosjektfaser for implementering av hvert enkelt tiltak. Implementering i forbindelse med program- og konseptutvikling og forprosjektutvikling anbefales for overordnede tiltak, som definisjon av mål for avfallsproduksjon, eller tiltak som handler om design for standardiserte elementer, bruk av avkapp eller delt geometri. Implementering i forbindelse med detaljprosjektering anbefales for løsninger som skal inkluderes i riggplan eller lignende, eksempelvis etablering av lokalt lager eller funksjonelle produksjonslinjer. Implementering i produksjonsfasen anbefales for tiltak som i utgangspunktet ikke krever forutgående utredning for det aktuelle prosjektet. For erfaringsoverføring og erfaringsdatabaser anbefales videreføring gjennom overlevering og bruksfase.

6.3 Bruk av kunstig intelligens

Flere av de identifiserte tiltakene vurderes å kunne implementeres ved hjelp av kunstig intelligens. Teknikker som synes særlig hensiktsmessige i implementeringen er bruk av maskinlæring, evolusjonære algoritmer og hybridsystemer, for å definere hensiktsmessige mål; generativ design, ved valg av plan eller layout blant mange alternativer; sensorer og visuell databehandling, i forbindelse med måling og kontroller på byggeplassen; samt bruk av teknikker som involverer VR og AR for opplæring. Kunnskapsbaserte systemer kan være et godt alternativ for mer direkte problemstillinger, ettersom de er transparente, og kan bidra til økt tillit mellom menneske og maskin. Autonome roboter kan benyttes i forbindelse med inspeksjoner på byggeplass, eller industriell produksjon *off-site*. Flere allerede eksisterende løsninger basert på kunstig intelligens ser ut til å kunne brukes også for avfallsreduksjon.

En gjennomgående utfordring ved bruk av kunstig intelligens i byggebransjen ser ut til å bli tilgangen til data i tilstrekkelige kvantum og av tilstrekkelig kvalitet. Det vil også være viktig at en prosjektorganisasjon eller virksomhet vurderer alle praktiske og etiske aspekter ved implementeringen av kunstig intelligens opp mot sin egen utvikling og drift.

Innledende undersøkelser tyder på at kunstig intelligens vil være mest effektivt i kombinasjon med allerede eksisterende digitale løsninger, og kombinert med andre kjente verktøy og metoder for avfallsreduksjon, som trimmet bygging, samspillselementer og industrialisering.

6.4 Bærekraft i prosjektet

Økonomiske gevinster fra avfallsreduksjonen inkluderer reduserte kostnader knyttet til innkjøp og avhending av materialer, samt reduserte timeverk som følge av redusert sløsing. Økt konkurransekraft som følge av en bærekraftig innsats, med resulterende økt driftsmargin for virksomheten er også forventet, og bidrar til økonomisk bærekraft på sikt.

Miljømessige gevinster inkluderer redusert forbruk av ressurser, samt reduserte utslipp knyttet til utvinning og transport av materialer. Ved en implementering av tiltak i større skala og på

Konklusjon

bransjenivå antas betydelige gevinster, som samlet vil kunne utgjøre en reell - og kanskje uunnværlig - forskjell i kampen mot klimaendringene.

Sosiale gevinster inkluderer en ryddigere og sikrere byggeplass, med redusert behov for tilvirkning på byggeplass. På sikt vil gode vilkår og trygge forhold for arbeiderne på byggeplass kunne føre til økt rekruttering til bransjen som helhet.

6.5 Fremtidig arbeid

Oppgaven har i hovedsak fokusert på entreprenørens perspektiv i arbeidet mot avfallsfrie byggeplasser. Et verdifullt alternativ for videre arbeid kan derfor inkludere en tilsvarende utredning av tiltak fokusert mot andre aktører i bransjen. Både litteratur og intervjuer peker på et betydelig potensial hos en rekke andre aktører i verdikjeden, og dette er et potensial som bør utforskes nærmere. Med utgangspunkt i oppgaven kan det også være aktuelt å se på implikasjonen de identifiserte tiltakene vil ha for andre aktører; eksempelvis hvordan aktuelle designvalg vil kunne påvirke øvrige arkitektoniske prinsipper og løsninger.

For å ytterligere motivere til en satsning på avfallsfrie byggeplasser kan det være virkningsfullt å arbeide for å kvantifisere nøyaktige besparelser, både for økonomi og miljø, knyttet til hvert enkelt tiltak. Dette vil kunne brukes for å motivere og engasjere i alle ledd av organisasjonen, fra et overordnet, strategisk nivå, og helt ut på byggeplassen.

En naturlig forlengelse av en teoretisk tilnærming som presentert i denne oppgaven, kan dessuten være en casestudie hvor tiltakene utredes ytterligere, og deretter testes i praksis. Det vil kunne være hensiktsmessig å utføre pilotprosjekter hvor tiltakene for enkelte fraksjoner, prosesser eller aktiviteter velges ut; dette vil gi en mulighet til å teste en eventuell effekt av hvert enkelt tiltak - eller kombinasjoner av tiltak - før tiltakene implementeres i større skala.

Det vil også være hensiktsmessig å nærmere studere hvordan data fra byggeprosjekter bør samles og struktureres for å nyttiggjøres av kunstig intelligens, ettersom tilstrekkelige mengder og tilstrekkelig kvalitet på data vil være avgjørende.

Konklusjon

Denne oppgaven har presentert et rammeverk for avfallsreduksjon med utgangspunkt i dagens kontraktsformer og gjennomføringsmodeller. For å virkelig utnytte potensialet som ligger i avfallsreduksjon og kunstig intelligens vil det sannsynligvis være nødvendig å etterstrebe et tredje innovasjonsnivå, og redefinere kontraktsformene, forretningsmodellene og gjennomføringsmodellene som benyttes i dag. Dette er en omfattende oppgave, og bør involvere sentrale aktører i alle ledd av verdikjeden.

Referanser

- Aas, H. og Moen, J. R. (2019) *Avfallsfrie byggeplasser*. Tilgjengelig fra: <https://innovativeanskaffelser.no/avfallsfrie-byggeplasser/> (hentet 20.06.2019)
- Abbasi, M. og Hanandeh, A. E. (2016) Forecasting municipal solid waste generation using artificial intelligence modelling approaches. *Waste Management*. Volume 56. 2016. Pages 13-22. Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X16302501> (hentet 18.04.2020)
- ACCA Software (2018) *BIM Dimensions* [figur]. Tilgjengelig fra: http://biblus.accasoftware.com/en/wp-content/uploads/sites/2/2018/04/7D_BIM-EN-01.png (hentet 20.07.2020)
- Afshar, A., Massoumi, F., Afshar, A. og Mariño, M. A. (2015) State of the art review of ant colony optimization applications in water resource management. *Water Resources Management*. 29 (11), pp. 3891–3904.
- Akinade, O. O. (2017) *BIM-based software for construction waste analytics using artificial intelligence hybrid models*. Doktoravhandling. University of the West of England.
- Ali, T. H., Akhund, M. A., Memon, N. A., Memon, A. H., Imad, H. U. og Khahro, S. H. (2019) Application of Artificial Intelligence in Construction Waste Management. 8th *International Conference on Industrial Technology and Management*. Pp. 50-55.
- Alvesson, M. og Sandberg, J. (2013) *Constructing research questions*. 1. utgave. Sted: Sage Publishing Ltd.
- An, S-H., Park, U-Y., Kang, K-I., Cho, M-Y. og Cho, H-H. (2007) Application of support vector machines in assessing, conceptual cost estimates. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 21 (4), pp. 259-264.
- Ansah, R. H., Sorooshian, S., Mustafa, S. B. og Duvvuru, G. (2016) Lean Construction Tools. *Proceedings of the 2016 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*.
- Asadi, E., da Silva, M. G., Antunes, C. H., Dias, L. og Glicksman, L. (2014) Multi-objective optimization for building retrofit: A model using genetic algorithm and artificial neural network and an application. *Energy and Buildings*. 81 (1), pp. 444–456.
- Asplan Viak (2018a) *Utredning av barrierer og muligheter for ombruk av byggematerialer og tekniske installasjoner i bygg*. Tilgjengelig fra:

Referanser

- <https://d21dbafykdck9.cloudfront.net/1540804862/nhp-rapport-v4.pdf> (hentet 08.08.2019)
- Asplan Viak (2018b) *Hvilke materialer og komponenter kan man bruke?* Tilgjengelig fra: <https://www.asplanviak.no/temaer/kampanjer/kvartalet/kvartalet-nr-2-2016-vugge-til-vugge/baerekraftige-materialer/> (hentet 08.08.2019)
- Augusto, T., Mounir, K. og Melo, A. M. C. (2012) A cost optimization-based design of precast concrete floors using genetic algorithms. *Automation in Construction*. 22 (1), pp. 348–356.
- Avfall Norge (2016) *Avfalls- og gjenvinningsbransjens veikart for sirkulærøkonomi*. Tilgjengelig fra: <https://www.gronnkonkurranseskraft.no/files/2016/10/Avfalls-og-gjenvinningsbransjen-Veikart-for-sirkul%C3%A6r-%C3%B8konomi.pdf> (hentet 17.09.2019)
- Bakkeli, M. (2017) *Virtuell virkelighet*. Tilgjengelig fra: <https://relasjon.skanska.no/hva-er-egentlig-vdc/> (hentet 02.12.2019)
- Basaif, A. A. og Alashwal, A. M. (2018) A review of the application of artificial intelligence for risk analysis in construction projects. Tilgjengelig fra: <https://researchdirect.westernsydney.edu.au/islandora/object/uws:49531> (hentet 18.03.2020)
- Bramsely, K. (2018) *Bygg- og eiendomssektorens betydning for klimagassutslipp*. Tilgjengelig fra: https://www.bygg21.no/contentassets/901dbc37a0c242229f4d8248a12919dc/33019_d_ellrapport-3b_digitalt.compressed.pdf (hentet 09.09.2019)
- Bygg21 (2015) *Veileder for fasenormen «Neste Steg»*. Tilgjengelig fra: <https://www.bygg21.no/contentassets/ac0c77e4ec904c7a955525528b474b6c/veileder-for-fasenormen-neste-steg.pdf> (hentet 26.01.2020)
- Byggeindustrien (2018) *Ramirent tar i bruk Modulcover - sparer miljøet for tonnevis med plast*. Tilgjengelig fra: <http://www.bygg.no/article/1358047> (hentet 08.10.2019)
- Byggeindustrien (2019aaa) *Bygger med kunstig intelligens i Bergen*. Tilgjengelig fra: <http://www.bygg.no/article/1410999> (hentet 24.01.2020)
- Byggemiljø (2016) *Veiledning til tilpasningsdyktighet. En introduksjon til tilpasningsdyktighet i byggeprosjekter og i bygg- og eiendomsforvaltningen*. Tilgjengelig fra: <https://www.byggemiljo.no/wp-content/uploads/2014/12/Tilpasningsdyktighet-Byggemilj%C3%B8veileder-04.11.08.pdf> (hentet 18.10.2019)

Referanser

- Charef, R., Alaka, H. og Emmitt, S. (2018) Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views. *Journal of Building Engineering*. 19 (1), pp. 242-257.
- Cheng, M-Y., Tsai, H-C. og Liu, C-L. (2009) Artificial intelligence approaches to achieve strategic control over project cash flows. *Automation in Construction*. 18 (4), pp. 386-393.
- Cheng, M-Y. og Hoang, N-D. (2014) Interval estimation of construction cost at completion using least squares support vector machine. *Journal of Civil Engineering and Management*. 20 (2), pp. 223–236.
- Cheng, M-Y., Tsai, H-C. og Hsieh, W-S. (2009) Web-based conceptual cost estimates for construction projects using Evolutionary Fuzzy Neural Inference Model. *Automation in Construction*. 18 (2), pp. 164–172.
- Cheng, S., Chan, C. W. og Huang, G. H. (2003) An integrated multi-criteria decision analysis and inexact mixed integer linear programming approach for solid waste management. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 16 (5-6), pp 543-553.
- Choi, J. W., Kim, S.A., Lertlakkhanakul, J. og Yeom, J.H. (2008) Developing ubiquitous space information model for indoor gis service in ubicomp environment. *Networked Computing and Advanced Information Management. Fourth International Conference*.
- Chou, J-S., Lin, C-W., Pham, A-D., og Shao, J-Y. (2015) Optimized artificial intelligence models for predicting project award price. *Automation in Construction*. 54 (1).
- Chua, D. K. H., Li, D. Z. og Chan, W. T. (2001) Case-based reasoning approach in bid decision making. *Journal of construction engineering and management*. 127 (1), pp. 35–45.
- Dalen, M. (2004) *Intervju som forskningsmetode*. Oslo: Universitetsforlaget.
- Dalland, O. (2012) *Metode og oppgaveskriving for studenter*. Oslo: Gyldendal akademisk.
- Dasgupta, D. og Michalewicz, Z. (2013) *Evolutionary algorithms in engineering applications*.
- De nasjonale forskningsetiske komiteene (2016) *Beskyttelse av forskningsdeltakere*. Tilgjengelig fra: <https://www.etikkom.no/forskningsetiske-retningslinjer/naturvitenskap-og-teknologi/beskyttelse-av-forskningsdeltakere/> (hentet 18.09.2019)

Referanser

- Denzin, N. K. (2012) *Triangulation 2.0*. Tilgjengelig fra: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1558689812437186?journalCode=mmra> (hentet 09.11.2019)
- Difi (2013) *Samspillsentreprisen*. Tilgjengelig fra: <https://www.anskaffelser.no/hva-skal-du-kjope/bygg-anlegg-og-eiendom-bae/gjennomforingsmodeller/samspillsentreprise> (hentet 25.11.2019)
- DigitalNorway (2020) *Kurs og kompetanse*. Tilgjengelig fra: <https://digitalnorway.com/kurs-og-kompetanse/> (hentet 18.03.2020)
- Direktoratet for byggkvalitet (2017) *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/> (hentet 29.09.2019)
- Direktoratet for økonomistyring (2019) *Gevinstrealisering*. Tilgjengelig fra: <https://dfo.no/fagomrader/gevinstrealisering/hva-er-en-gevinst> (hentet 28.11.2019)
- Dvergsdal, H. (2019) *Nevralt nettverk*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/nevralt_nettnetk (hentet 18.03.2020)
- Eide, L. H. (2019) *Nye løsninger gir mindre byggavfall*. Tilgjengelig fra: <https://renas.no/nye-losninger-gir-mindre-byggavfall/> (hentet 28.09.2019)
- Emballasjeforeningen (2019) *Veikart for sirkulær plastemballasje i Norge*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/ab557e6446d84b1c9c348c9912b47535/veikart-for-sirkular-plastemballasje-i-norge.pdf> (hentet 03.10.2019)
- Energi Norge, Norsk Fjernvarme, Bellona, Enova (2017) *Fossil- og utslippsfrie byggeplasser*. Tilgjengelig fra: <https://www.energinorge.no/contentassets/5c1dbdfd942d48d282c421a202295794/utslippsfrie-byggeplasser.pdf> (hentet 10.09.2019)
- Engseth, P. (2018) *Byggebransjen - en sinke på digitalisering og effektivitet*. Tilgjengelig fra: <https://www.byggfakta.no/byggebransjen-en-sinke-pa-digitalisering-og-effektivitet-126912/nyhet.html> (hentet 08.01.2020)
- Entreprenørforeningen (2013) *Veileder om samspillsentreprise*. Tilgjengelig fra: <https://www.anskaffelser.no/sites/anskaffelser2/files/veileder.pdf> (hentet 25.11.2019)
- Everett, L. og Furuseth, I. (2012) *Masteroppgaven: Hvordan begynne - og fullføre*. Oslo: Universitetsforlaget.

Referanser

- Europakommisjonen (2019) *A definition of Artificial Intelligence: main capabilities and scientific disciplines*. Tilgjengelig fra: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/definition-artificial-intelligence-main-capabilities-and-scientific-disciplines> (hentet 18.02.2020)
- FN-sambandet (2019a) *Bærekraftig utvikling*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/Tema/Fattigdom/Baerekraftig-utvikling> (hentet 04.09.2019)
- FN-sambandet (2019b) *FNs bærekraftsmål*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/Om-FN/FNs-baerekraftsmaal> (hentet 04.09.2019)
- FN-sambandet (2019c) *Avtaler*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/Om-FN/Avtaler> (hentet 12.09.2019)
- FN-sambandet (2019d) *Parisavtalen*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/Om-FN/Avtaler/Miljoe-og-klima/Parisavtalen> (hentet 12.09.2019)
- Furulund, Ø. (2017) Returpapir gir både miljøvennlig og økonomisk gevinst: Slik sorterer du optimalt. Tilgjengelig fra: <https://blogg.norskgjenvinning.no/returpapir-gir-bade-miljovennlig-og-okomisk-gevinst-slik-sorterer-du-optimalt> (hentet 16.09.2019)
- Forurensningsloven (2019) *Lov om vern mot forurensninger og om avfall*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1981-03-13-6> (hentet 08.08.2019)
- Frydenlund, J. (2017) *Avfallshåndtering på byggeplassen - 5 ting du må tenke på*. Tilgjengelig fra: <https://blogg.norskgjenvinning.no/avfallshandtering-p%C3%A5-byggeplassen-5-ting-du-ma-tenke-pa> (hentet 15.09.2019)
- Følgesvold, A. (2016) *Digitalisering av byggebransjen*. Rapport. Oslo: Bygg 21.
- GABC. Global Alliance for Buildings and Construction (2017) *Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector. GLOBAL STATUS REPORT 2017*. Tilgjengelig fra: https://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP%20188_GABC_en%20%28web%29.pdf (hentet 05.08.2019)
- Ghoddousi, P., Eshtehardian, E., Jooybanpour, S. og Javanmardi, A. (2013) Multi-mode resource-constrained discrete time-cost-resource optimization in project scheduling using non-dominated sorting genetic algorithm. *Automation in Construction*. 30 (1), pp. 216–227.
- Green Building Council (2019a) *Green building & the Sustainable Development Goals*. Tilgjengelig fra: <https://www.worldgbc.org/green-building-sustainable-development-goals> (hentet 05.09.2019)

Referanser

- Green Building Council (2019b) *What is green building?* Tilgjengelig fra: <https://www.worldgbc.org/what-green-building> (hentet 05.09.2019)
- Grønn Byggallianse (2019) *Grønn Byggallianses handlingsplan 2019*. Tilgjengelig fra: <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2019/01/Gr%C3%B8nn-Byggallianses-handlingsplan-2019.pdf> (hentet 07.09.2019)
- Grønn Byggallianse og Høgskolen i Østfold (2019) *Merverdien av grønne bygg*. Tilgjengelig fra: <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2019/10/Merverdien-av-gr%C3%B8nne-bygg.pdf> (hentet 20.11.2019)
- Grønn Byggallianse og Norsk Eiendom (2016) *Eiendomssektorens veikart mot 2050*. Tilgjengelig fra: <https://www.norskeiendom.org/wp-content/uploads/2016/09/Eiendomssektorens-veikart-mot-2050.pdf> (hentet 07.09.2019)
- Haaskjold, H., Andersen, B. og Langlo, J. A. (2020) In search of Empirical Evidence for the Relationship Between Collaboration and Project Performance. *The Journal of Modern Project Management*. 22 (7).
- Halvorsen, K. (2008) *Å forske på samfunnet. En innføring i samfunnsvitenskapelig metode*. Oslo: Cappelen Damm Akademisk.
- Hatling, M. og Samset, K. (2018) *Fleksibilitet i byggeprosjekter*. Tilgjengelig fra: <https://www.ntnu.no/documents/1261860271/1262021752/2018-1+Fleksibilitet+i+bygg.pdf/732f7e67-a922-41a4-9a93-be8a79c497ed?version=1.0> (hentet 18.11.2019)
- Haugseth, N., Lohne, J., Jensen, G. og Lædre, O. (2014) Partnering in Statsbygg. *Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.
- High-Level Expert Group on Artificial Intelligence (2020) A Definition of AI: Main Capabilities and Disciplines. Tilgjengelig fra: <https://www.aepd.es/sites/default/files/2019-12/ai-definition.pdf> (hentet 26.01.2020)
- Hjellnes Consult (2015) *Plukkanalyser av restavfallskontainere fra byggeplasser*. Tilgjengelig fra: <http://www.byggemiljo.no/wp-content/uploads/2017/03/Plukkanalyser-p%C3%A5-restavfallskontainere-fra-byggeplass.pdf> (hentet 13.09.2019)
- Hola, B. og Schabowicz, K. (2010) Estimation of earthworks execution time cost by means of artificial neural networks. *Automation in Construction*. 19 (5), pp. 570–579.
- Holme, I. M. og Solvang, B. K. (1996) *Metodevalg og metodebruk*. Otta: Tano.

Referanser

- Hovland, K. M. (2019) *Rapport: Klimaomstillingen går for sakte*. Tilgjengelig fra: <https://e24.no/energi/i/70o1V4/rapport-klimaomstillingen-gaar-for-sakte> (hentet 18.11.2019)
- Iltter, D. og Dikbas, A. (2009). A review of the artificial intelligence applications in construction dispute resolution. *Managing IT in Construction*. International Conference Proceedings.
- IPCC (2007) *Economic Mitigation Potential by Sector, 2030* [figur]. Tilgjengelig fra: <https://publications.wri.org/buildingefficiency/img/figure1.1.png> (hentet 09.09.2019)
- Irani, Z. og Kamal, M. M. (2014) Intelligent Systems Research in the Construction Industry. *Expert Systems with Applications*. 41 (4), pp. 934-950.
- Jacobsen, D. I. (2015) *Hvordan gjennomføre undersøkelser?* 3. utgave. Oslo: Cappelen Damm Akademisk.
- Jafarzadeh, R., Ingham, J. M. og Wilkinson, S. (2014) A seismic retrofit cost database for buildings with a framed structure. *Earthquake Spectra*. 30 (2), pp. 625–637.
- Ji, S-H., Park, M. og Lee, H-S. (2011) Case adaptation method of case-based reasoning for construction cost estimation in Korea. *Journal of Construction Engineering and Management*. 138 (1), pp. 43–52.
- Johannessen, A., Tufte, P. A. og Christoffersen, L. (2016) *Introduksjon til samfunnsvitenskapelig metode*. 5. utgave. Oslo: Abstrakt forlag.
- Josephson, P. E. og Björkman, L. (2011) *31 recommendations for increased profit. Reducing waste*. Tilgjengelig fra: https://www.cmb-chalmers.se/wp-content/uploads/2015/10/31_recommendations.pdf (hentet 17.11.2019)
- Juszczyk, M. (2017) The Challenges of Nonparametric Cost Estimation of Construction Works with the use of Artificial Intelligence Tools. *Procedia Engineering*. 196 (1), pp. 415-422.
- Kabak, M., Köse, E., Kırılmaz, O. og Burmaoğlu, S. (2014) A fuzzy multi-criteria decision making approach to assess building energy performance. *Energy and Buildings*. 72 (1), pp. 382–389.
- Kanapeckiene, L., Kaklauskas, A., Zavadskas, E.K. og Seniut, M. (2010) Integrated knowledge management model and system for construction projects. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 23 (7), pp. 1200-1215.

Referanser

- Kartam, N., Al-Mutairi, N. Al-Ghusain, I. og Al-Humoud, J. (2004) Environmental management of construction and demolition waste in Kuwait. *Waste Management*. 24 (10), pp. 1049-1059.
- Kim, K. J. og Kim, K. (2010) Preliminary cost estimation model using case-based reasoning and genetic algorithms. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 24 (6), pp. 499–505.
- Kim, G. H., Seo, D. S. og Kang, K.I. (2005) Hybrid models of neural networks and genetic algorithms for predicting preliminary cost estimates. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 19 (2), pp. 208–211
- Kim, G., Shin, J., Kim, S. og Shin, Y. (2013) Comparison of school building construction costs estimation methods using regression analysis, neural network, and support vector machine. *Journal of Building Construction and Planning Research*. 01 (01), pp. 1-7.
- Klima- og miljødepartementet (2016) *Grønne løsninger krever digitalisering*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/gronne-losninger-krever-digitalisering/id2500254/> (hentet 18.06.20)
- Ko, C.-H. og Cheng, M.-Y. (2007) Dynamic Prediction of Project Success Using Artificial Intelligence. *Journal of Construction Engineering and Management*. 133 (4).
- Kommunal- og moderniseringsdepartementet (2020) *Nasjonal strategi for kunstig intelligens*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/1febbb2c4fd4b7d92c67ddd353b6ae8/no/pdfs/ki-strategi.pdf> (hentet 18.06.20)
- Koskela, L. J., Ballard, G., Howell, G. og Tommelein, I. (2002) The foundations of lean construction. *Design and Construction: Building in Value*.
- Kronholm, S. (2016) *Byggebransjen synder mot miljøet*. Tilgjengelig fra: <https://renas.no/miljo-byggebransje/> (hentet 28.09.2019)
- Labonnote, N. (2018) *Muligheter for effektivisering og kostnadsbesparing i bygg og anlegg*. Tilgjengelig fra: <https://tekna5.aventia.no/embed/archive/311> (hentet 20.02.20)
- Langdon, D. (2013) *Designing out Waste: A design team guide for buildings*. Tilgjengelig fra: <https://www.modular.org/marketing/documents/DesigningoutWaste.pdf> (hentet 18.11.2019)
- Langlo, J. A. og Andersen, B. (2016) Productivity and performance measurement in the construction sector. *CIB World Building Congress 2016*.

Referanser

- Lee, D., Kim, S. og Kim, S. (2016) Development of Hybrid Model for Estimating Construction Waste for Multifamily Residential Buildings Using Artificial Neural Networks and Ant Colony Optimization. *Sustainability*. 8 (9), pp. 870.
- Lee, S-K., Kim, K-R. og Yu, J-H. (2014) BIM and ontology-based approach for building cost estimation. *Automation in construction*. 41 (1), pp. 96–105.
- Leland, B. N. (2008) *Prosjektering for ombruk og gjenvinning*. Tilgjengelig fra: http://www.byggemiljo.no/wp-content/uploads/2014/10/26_Prosjektering-for-Ombruk-og-Gjenvinning.pdf (hentet 17.09.2019)
- Linge, G. N. (2016) *Hva er egentlig VDC. Skanska Relasjon*. Tilgjengelig fra: <https://relasjon.skanska.no/hva-er-egentlig-vdc/> (hentet 08.08.2019)
- Liseter, I. M. (2018) *Robot*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/robot> (hentet 04.08.2020)
- Lystad, H. (2018) *All plastemballasje skal være resirkulerbar innen 2030*. Tilgjengelig fra: <https://www.avfallnorge.no/bransjen/nyheter/all-plastemballasje-skal-v%C3%A6re-resirkulerbar-innen-2030> (hentet 03.10.2019)
- Ma, Z. og Ma, J. (2017) Formulating the application functional requirements of a BIM-based collaboration platform to support IPD projects. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 21 (6).
- Magaña Martínez, D. og Fernández-Rodríguez J. C. (2015) Artificial intelligence applied to project success: a literature review. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*. 3(5): 77-84. 2015.
- Marton, I. (2019) *Ombruk utfordrer dagens regelverk*. Tilgjengelig fra: <http://www.bygg.no/article/1414888> (hentet 15.11.2019)
- Mejlænder-Larsen, Ø. (2019) *Use of project execution models and BIM in oil and gas projects: searching for relevant improvements for construction*. Doktorgrad. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Miljødirektoratet (2019) *Norges miljømål*. Tilgjengelig fra: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/miljomal/> (hentet 07.09.2019)
- Miljødirektoratet (2015) *Klima i endring: FNs klimapanelers femte hovedrapport*. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M97/M97.pdf> (hentet 07.09.2019)
- Moen, J. R. (2017) *Innlegg: Avfallsfrie byggeplasser*. Tilgjengelig fra: <http://www.bygg.no/article/1325023> (hentet 20.06.2019)

Referanser

- Monden, Y. (1994) *Toyota Production System. An Integrated Approach to Just-In-Time*. Boston, MA: Springer US.
- Mosa, A. M., Taha, M. R., Ismail, A. og Rahmat, R. A. O. K. (2013) A diagnostic expert system to overcome construction problems in rigid highway pavement. *Journal of Civil Engineering and Management*. 19 (6), pp. 846–861.
- Moum, A., Høiland-Kaupang, H., Olsson, N. og Bredeli, M. (2017) *Industrialisering av byggeprosessene. Status og trender*. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
- Mørch, T. og Kase, B. C. (2018) *Produksjonen i full gang for gjenvinning av gips*. Tilgjengelig fra: <https://www.nggroup.no/presserom/produksjonen-i-full-gang-for-gjenvinning-av-gips/> (hentet 25.09.2019)
- NASA (2019) *Climate Change: How Do We Know?* Tilgjengelig fra: <https://climate.nasa.gov/evidence/> (hentet 07.09.2019)
- Nagendra, S. V. og Rafi, N. (2018) *Application of Artificial Intelligence in Construction Project Management*. Tilgjengelig fra: <https://www.ijresm.com/volume-1-issue-12-december-2018/> (hentet 17.02.20)
- Nettverk for gjennomføring av Nasjonal handlingsplan for bygg- og anleggsavfall. NHP-nettverket (2016) *Avfallshåndtering på byggeplass*. Tilgjengelig fra: http://www.byggemiljo.no/wp-content/uploads/2016/03/Veileder_Avfallsh%C3%A5ndtering-p%C3%A5-byggeplass-rev.2016.pdf (hentet 13.09.2019)
- New South Wales Environment Protection Authority, NSW ESP (2017) *The waste hierarchy*. Tilgjengelig fra: <https://www.epa.nsw.gov.au/your-environment/recycling-and-reuse/warr-strategy/the-waste-hierarchy> (hentet 19.08.2020)
- Nordby, A. S. (2011) *Effektive gjennbruksløsninger. Utredning om miljøvurderinger ved gjenbruk av byggematerialer*.
- Nordby, A. S., Wærner, E. R. (2017) *Hvordan planlegge for mindre avfall*. Tilgjengelig fra: https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2018/07/NGBC_veileder_Hvordan-planlegge-for-mindre-avfall.pdf (hentet 13.09.2019)
- Norgips (u.d.) *Bærekraft*. Tilgjengelig fra: <https://norgips.no/prosjektering/dokumentasjon-og-godkjenninger/epd-milj%C3%B8deklarasjon> (hentet 20.09.2019)

Referanser

- Norsk Gjenvinning (u.d. a) *Grønt Ansvar*. Tilgjengelig fra: <https://www.norskgjenvinning.no/bedrift/pakkeloesninger/groent-ansvar/> (hentet 07.07.2019)
- Norsk Gjenvinning (u. d. b) *Rapporter/statistikk* [figur]. Tilgjengelig fra: <https://www.norskgjenvinning.no/bedrift/en-enklere-hverdag/groent-ansvar/rapporterstatistikk/> (hentet 07.07.2020)
- Norsk Gjenvinning (u.d. c) *Avfallstyper*. Tilgjengelig fra: <https://www.norskgjenvinning.no/tjenester/avfallstyper/> (hentet 07.07.2019)
- Olerud, K. (2019) *Grønt skifte*. Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: https://snl.no/gr%C3%B8nt_skifte (hentet 15.09.2019)
- Olsson, N. O. E. (2011) *Praktisk rapportskrivning*. 1. utgave. Trondheim: Tapir akademisk forlag.
- Omkar, S. N., Senthilnath, J., Khandelwal, R., Naik, G. N. og Gopalakrishnan, S. (2011) Artificial Bee Colony (ABC) for multi-objective design optimization of composite structures. *Applied Soft Computing*. 11 (1), pp. 489–499.
- Petroutsatou, K., Georgopoulos, E., Lambropoulos, S. og Pantouvakis, J.P. (2011) Early cost estimating of road tunnel construction using neural networks. *Journal of construction engineering and management*. 138 (6), pp. 679-687.
- Reaktor (2020) *Elements of AI*. Tilgjengelig fra: <https://www.elementsofai.com/no/> (hentet 27.04.20)
- Regjeringen (2014) *Grønt skifte - klima- og miljøvennlig omstilling*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/gront-skifte/id2076832/> (hentet 05.08.2019)
- Regjeringen (2018) *Internasjonalt klima- og miljøarbeid*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/internasjonalt-klima--og-miljoarbeid/id2339820/> (hentet 07.09.2019)
- Regjeringen (2016) *Grønn konkurransekraft*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/02d09ccf18654070bc52e3773b9edbe1/t-1557b.pdf> (hentet 17.09.2019)
- Retura (u.d.) *Gips*. Tilgjengelig fra: <https://retura-ir.no/avfall/gips/> (hentet 20.09.2019)
- Rienecker, L. og Jørgensen, P. S. (2013). *Den gode oppgaven: Håndbok i oppgaveskriving på universitet og høyskole*. Bergen: Fagbokforlaget.

Referanser

- Rodahl, T. (2018) *Roboter på byggeplass*. Tilgjengelig fra: <https://bygg.tekna.no/roboter-pa-byggeplass/> (hentet 22.09.2019)
- Rodahl, T. (2019) *Sirkulær økonomi i byggebransjen*. Tilgjengelig fra: <https://bygg.tekna.no/sirkulaer-okonomi-i-byggebransjen/> (hentet 19.09.2019)
- Rosenlund, S. (2019) *Gips som resirkulert råvare*. Tilgjengelig fra: <https://www.avfallnorge.no/bransjen/nyheter/gips-som-resirkulert-r%C3%A5vare> (hentet 20.09.2019)
- Rossen, E. (2015) *Ekspertsystem*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/ekspertsystem> (hentet 18.02.20)
- Russell, S. J. og Norvig, P. (2010) *Artificial Intelligence. A Modern Approach*. Tredje utgave. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education.
- Rybina, G. V. og Blokhin, Y. M. (2016) Automated Planning: Usage for Integrated Expert Systems Construction. *Biologically Inspired Cognitive Architectures (BICA) for Young Scientists*. 449 (1), pp. 169-177.
- Rønningen, O. (2000) *Bygg og anleggsavfall: avfall fra nybygging, rehabilitering og riving: resultater og metoder*. Tilgjengelig fra: https://www.nb.no/items/URN:NBN:no-nb_digibok_2011060606043 (hentet 09.09.2019)
- Salem, O., Solomon, J., Genaidy, A., Minkarah, I. og Asce, M. (2006) Lean Construction: From Theory to Implementation. *Journal of Management in Engineering*. 22 (4).
- Saltveit, T. (2018) *Innovasjon og nye løsninger i Bjørvika*. Tilgjengelig fra: <https://tekna5.aventia.no/embed/archive/314> (hentet 20.02.20)
- Sjøgren, J., Krogh, E., Christensen, L. og Olsen-Skåre, K. H. (2017) *Digitalt veikart - for en heldigitalisert, konkurransedyktig og bærekraftig BAE-næring*. Tilgjengelig fra: <https://www.bygg21.no/contentassets/0f0364f3e2cf49d088f905293ac8e6e1/digitalt-veikart-bae-naeringen.pdf> (hentet 14.02.2020)
- Son, H., Kim, C. og Kim, C. (2012) Hybrid principal component analysis and support vector machine model for predicting the cost performance of commercial building projects using pre-project planning variables. *Automation in Construction*. 27 (1), pp. 60–66.
- Sowa, J. F. (2000) *Knowledge representation*. Første utgave. Pacific Grove: Brooks.

Referanser

- Språkrådet (2015) *Årets ord: det grønne skiftet*. Tilgjengelig fra: <https://www.sprakradet.no/Vi-og-vart/hva-skjer/Aktuelt/2015/arets-ord-det-gronne-skiftet/> (hentet 15.09.2019)
- SSB (2019a) *Avfall fra byggeaktivitet*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/avfbygganl> (hentet 14.06.2019)
- SSB (2019b) *Utslipp til luft*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/klimagassn> (hentet 09.09.2019)
- SSB (2018) *Produktivetsfall i bygg og anlegg*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/artikler-og-publikasjoner/produktivetsfall-i-bygg-og-anlegg> (hentet 20.02.20)
- Standard Norge (2011) NS 9431:2011 Klassifikasjon av avfall. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=466301> (hentet 18.08.2014)
- Stene, T. M., Lædre, O. og Andersen, B. (2016) *Samspill i gjennomføring av byggeprosjekter. Former for samspill og effekter*. Rapport. Tilgjengelig fra: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2434835/Concept%2bRapport%2b2015_endelig_10.02.2016.pdf?sequence=2&isAllowed=y (hentet 14.02.2020)
- Sørnes, K., Nordby, A. S., Fjeldheim, H., Hashem, S. M. B, Mysen, M. og Schlanusch R. D. (2014) *Anbefalinger ved ombruk av byggematerialer*. Tilgjengelig fra: https://www.sintefbok.no/book/index/985/anbefalinger_ved_ombruk_av_byggematerialer (hentet 08.08.2019)
- Tam, C. M., Tam, V. W. Y., Chan, J. K. W. og Ng, W. C. Y. (2005) Prefabrication to Minimize Construction Waste - A Case Study Approach. *International Journal of Construction Management*. 5 (1), pp. 19-101.
- Tam, C. M., Tong, T. K. L. og Chan, W. K. W. (2011) Genetic algorithm for optimizing supply locations around tower crane. *Journal of construction engineering and management*. 127 (4), pp. 315–321.
- Tam, V. W. Y. og Hao, J. J. L. (2014) Prefabrication as a mean of minimizing construction waste on site. *International Journal of Construction Management*. 14 (2), pp. 113-121.
- Thagaard, T. (2003) *Systematikk og innlevelse. En innføring i kvalitativ metode*. 2. utgave. Bergen: Fagbokforlaget.

Referanser

- Thommesen, J. K. (2019) *Vil bygge byer med kunstig intelligens*. Tilgjengelig fra: <https://e24.no/naeringsliv/i/JoLOgP/spacemaker-ai-vil-bygge-byer-med-kunstig-intelligens> (hentet 24.02.20)
- Tidemann, A. (2020) *Kunstig intelligens*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/kunstig_intelligens (hentet 18.02.20)
- Tidemann, A. (2019) *Maskinlæring*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/maskinl%C3%A6ring> (hentet 18.02.20)
- Tidemann, A. (2017) *Dyp læring*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/dyp_l%C3%A6ring (hentet 18.02.20)
- Tjernshaugen, A. og Olerud, K. (2018) *Bærekraftig utvikling*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/b%C3%A6rekraftig_utvikling (hentet 04.09.2019)
- Tjora, A. (2017) *Kvalitative forskningsmetoder i praksis*. 3. utgave. Oslo: Gyldendal Akademisk.
- Tunmo, T. (2019) *Byggebransjen er lite innovativ*. Tilgjengelig fra: <http://www.bygg.no/article/1246344> (hentet 08.01.20)
- United States Environmental Protection Agency. US EPA (2018) *Best Practices for Reducing, Reusing and Recycling Construction and Demolition Materials*. Tilgjengelig fra: <https://www.epa.gov/smm/best-practices-reducing-reusing-and-recycling-construction-and-demolition-materials> (hentet 19.08.2020)
- VIKO (2019a) *Avanserte litteratursøk*. Tilgjengelig fra: <https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Avanserte+litteraturs%C3%B8k#section-Avanserte+litteraturs%C3%B8k-Trunkering> (hentet 10.10.2019)
- VIKO (2019b) *Finne kilder*. Tilgjengelig fra: <https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Finne+kilder#section-Finne+kilder-Hvordan+v%C3%A6re+kildekritisk?> (hentet 10.10.2019)
- Wilmot, C. G. og Mei, B. (2005) Neural network modeling of highway construction costs. *Journal of construction engineering and management*. 131 (7), pp. 765-771.
- Womack, J. P. og Jones, D. T. og Roos, D. (1991) *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production*. New York: MacMillan Publishing.
- World Resources Institute (2016) *Accelerating building efficiency*. Tilgjengelig fra: https://wrirosscities.org/sites/default/files/16_REP_Accelerating_Building_Efficiency.pdf (hentet 09.09.2019)

Referanser

- Wright, J. A., Loosemore, H. A. og Farmani, R. (2002) Optimization of building thermal design and control by multi-criterion genetic algorithm. *Energy and buildings*. 34 (9), pp. 959–972.
- Yu, W. og Skibniewski, M. J. (2009) Integrating neurofuzzy system with conceptual cost estimation to discover cost-related knowledge from residential construction projects. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 24 (1), pp. 35–44.
- Zhang, H. og Xing, F. (2010) Fuzzy-multi-objective particle swarm optimization for time–cost–quality tradeoff in construction. *Automation in Construction*. 19 (8), pp. 1067–1075.
- Zhang, S., Teizer, J., Lee, J-K., Eastman, C. M. og Venugopal, M. (2013) Building information modeling (BIM) and safety: Automatic safety checking of construction models and schedules. *Automation in Construction*. 29 (1), pp. 183–195.
- Zhang, Y. og Ng, T. S. (2012) An ant colony system based decision support system for construction time–cost optimization. *Journal of Civil Engineering and Management*. 18 (4), pp. 580–589.
- Årim (2015) ÅRIM - ein del av den sirkulære økonomien [figur]. Tilgjengelig fra: <https://arim.no/meldingar/2015/%C3%A5rsmelding/strategi-og-utvikling/%C3%A5rim---ein-del-av-den-sirkul%C3%A6re-%C3%B8konomien> (hentet 20.11.2019)

Vedlegg

Vedlegg A: Spørreundersøkelse

Avfallsfri byggeplass

En overordnet idé for Skanska er at vi skal oppnå avfallsfri byggeproduksjon ved å minimere avfallsgenerering og optimalisere materialutnyttelse gjennom hele verdikjeden basert på økonomisk, miljømessig og sosial bærekraft. Byggenæringen er i dag verdens største forbruker av naturressurser og står for nesten 40 % av energibruken og klimagassutslippene i verden. Nasjonalt viser tall fra SSB at avfallsandelen fra nybyggsprosjekter stadig øker.

I april 2019 gikk 11 av de største aktørene i den norske bygg- og anleggsnæringen sammen om å fremme et krav om avfallsfri byggeplass på sine prosjekter. Avfallet som genereres på byggeplassen kan deles inn i ulike fraksjoner. Vesentlige fraksjoner er identifisert som *trevirke*, *gips* og *emballasje*, både i form av *papp* og *papir* og *plast* – det er derfor nærliggende å anta potensialet for reduksjon av avfallsmengde i disse fraksjonene kan være stort.

1) Kontaktinformasjon

Navn:

Stilling:

Prosjekt:

Hvilken fase er prosjektet i?

2) Hvilke fraksjoner opplever du som størst eller mest problematisk på din byggeplass?

0/4000

Vedlegg

3) Hvilke aktiviteter genererer avfall i form av trevirke?

0/4000

4) Hvilke aktiviteter genererer avfall i form av trelast?

0/4000

5) Hvilken andel av fraksjonen trevirke vil du anslå er trelast?



6) Hvilken andel av fraksjonen trevirke vil du anslå er Europaller?



7) Hvilken andel av fraksjonen trevirke vil du anslå er engangspaller?



8) Hvilken andel av fraksjonen trevirke vil du anslå er emballasje?



9) Hvilken andel av fraksjonen trevirke vil du anslå er OSB-plater?



Vedlegg

10) Er det andre trematerialer som inngår i fraksjonen trevirke?

0/4000

11) Hvilke muligheter ser du for reduksjon av trevirke-avfall på byggeplassen?

0/4000

12) Annet?

0/4000

Vedlegg

13) Hvilke aktiviteter genererer avfall i form av gips?

0/4000

14) Hvilken andel av fraksjonen gips vil du anslå kastes grunnet ineffektiv bearbeiding?



15) Hvilken andel av fraksjonen gips vil du anslå kastes grunnet mangelfull oppbevaring?



16) Hvilke muligheter ser du for reduksjon av gips-avfall på byggeplassen?

0/4000

17) Annet?

0/4000

Vedlegg

18) Hvilke leveranser medfører mest emballasje på byggeplassen?

0/4000

19) Hvilken andel av fraksjonen emballasje vil du anslå er papp og papir?

0 % 100 %



20) Hvilken andel av fraksjonen emballasje vil du anslå er plast?

0 % 100 %



21) Hvilke muligheter ser du for reduksjon av emballasje-avfall på byggeplassen?

0/4000

22) Annet?

0/4000

Vedlegg

23) Hvilke andre tiltak tror du kan bidra til avfallsreduksjon på byggeplassen?

0/4000

24) Har du noen andre tanker, idéer eller tilbakemeldinger knyttet til Skanskas arbeid mot avfallsfrie byggeplasser?

0/4000

25) Annet?

0/4000

Vedlegg B: Svar fra spørreundersøkelse

Avfallsfri byggeplass

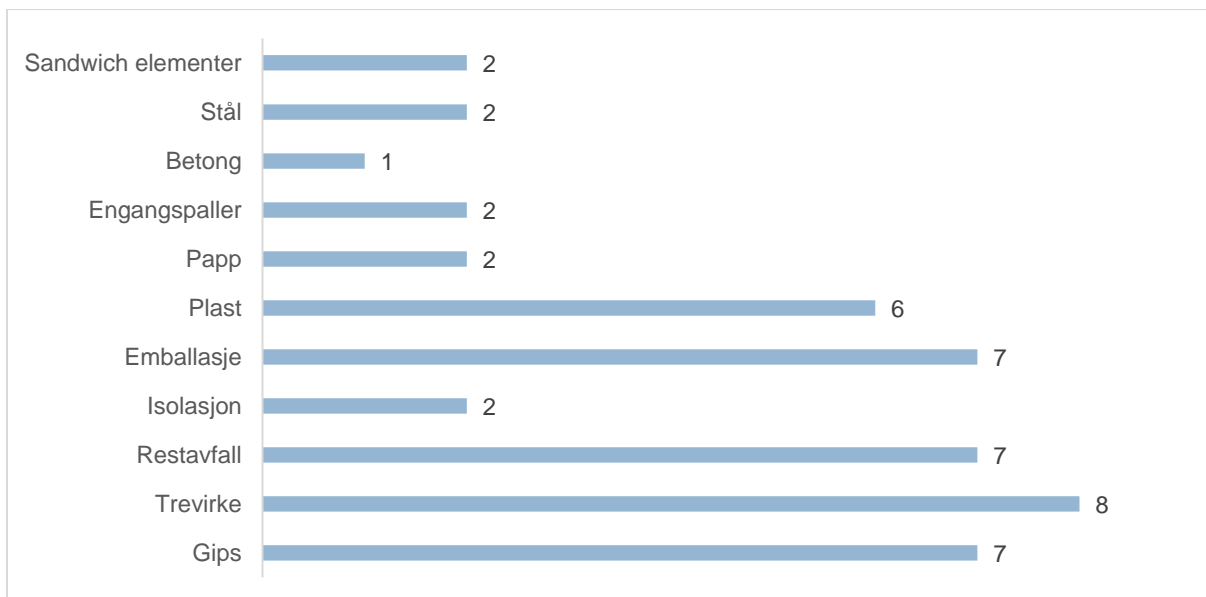
En overordnet idé for Skanska er at vi skal oppnå avfallsfri byggeproduksjon ved å minimere avfallsgenerering og optimalisere materialutnyttelse gjennom hele verdikjeden basert på økonomisk, miljømessig og sosial bærekraft. Byggenæringen er i dag verdens største forbruker av naturressurser og står for nesten 40 % av energibruken og klimagassutslippene i verden. Nasjonalt viser tall fra SSB at avfallsandelen fra nybyggsprosjekter stadig øker.

I april 2019 gikk 11 av de største aktørene i den norske bygg- og anleggsnæringen sammen om å fremme et krav om avfallsfri byggeplass på sine prosjekter. Avfallet som genereres på byggeplassen kan deles inn i ulike fraksjoner. Vesentlige fraksjoner er identifisert som *trevirke*, *gips* og emballasje, både i form av *papp og papir* og *plast* – det er derfor nærliggende å anta potensialet for reduksjon av avfallsmengde i disse fraksjonene kan være stort.

1) Kontaktinformasjon

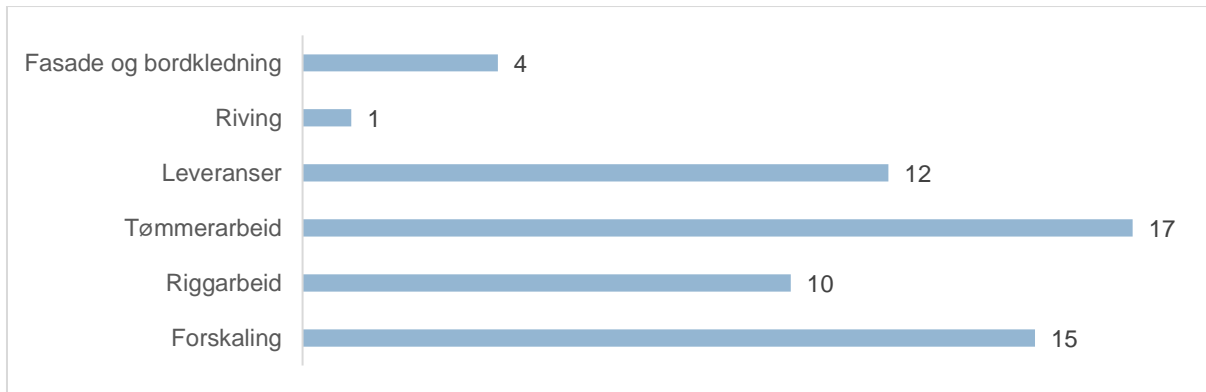
Av personvern hensyn vil ikke respondentenes svar gjengis for dette spørsmålet.

2) Hvilke fraksjoner opplever du som størst eller mest problematisk på din byggeplass?

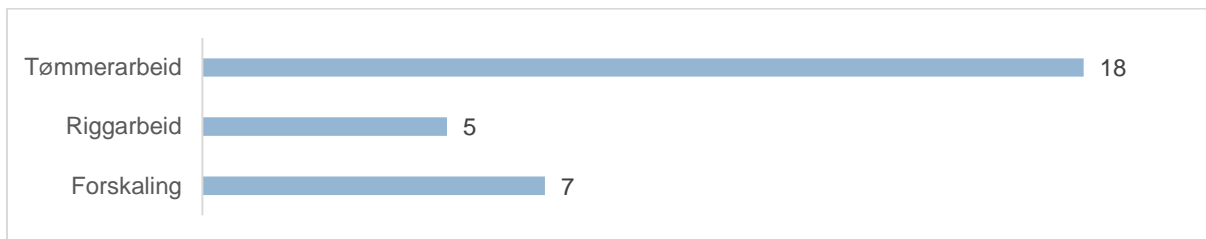


Vedlegg

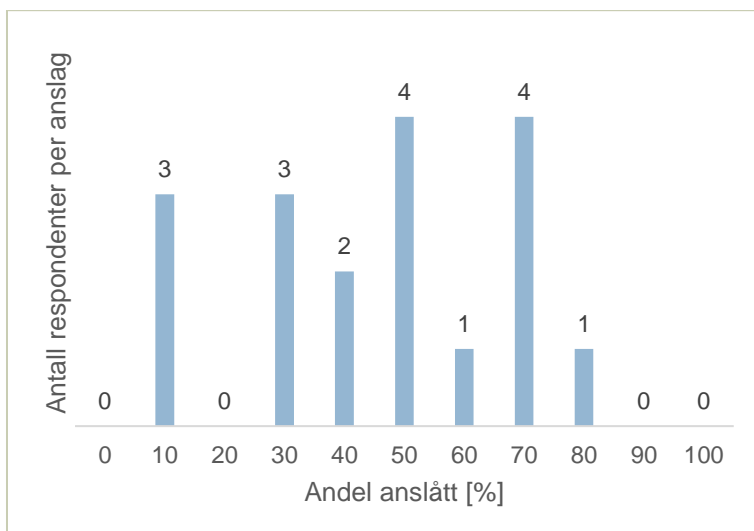
3) Hvilke aktiviteter genererer avfall i form av trevirke?



4) Hvilke aktiviteter genererer avfall i form av trelast?

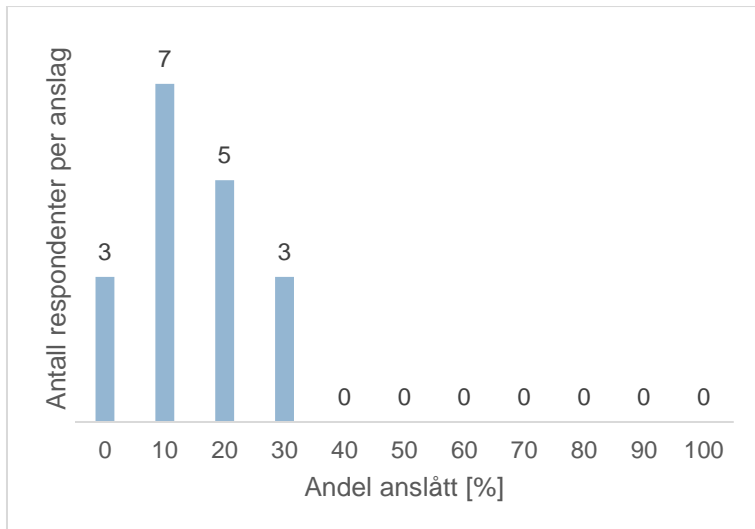


5) Hvilken andel av fraksjonen trevirke vil du anslå er trelast?



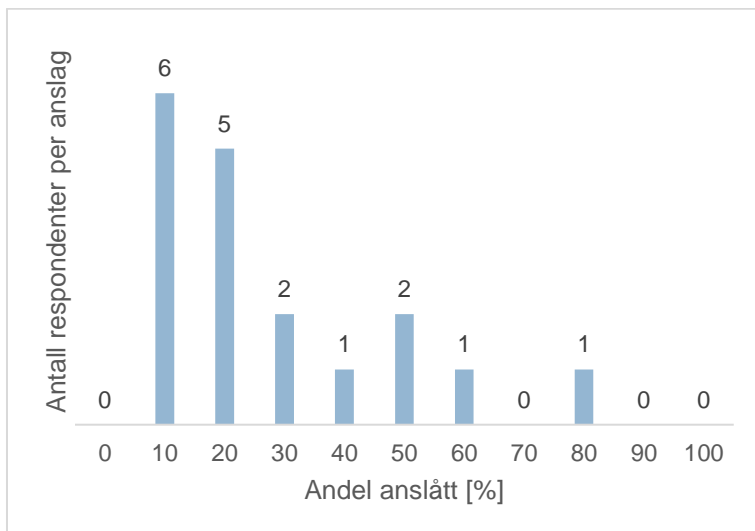
<i>Variasjonsbredde</i>	70
<i>Empirisk standardavvik</i>	22
<i>Forventningsverdi</i>	46

6) Hvilken andel av fraksjonen trevirke vil du anslå er Europaller?



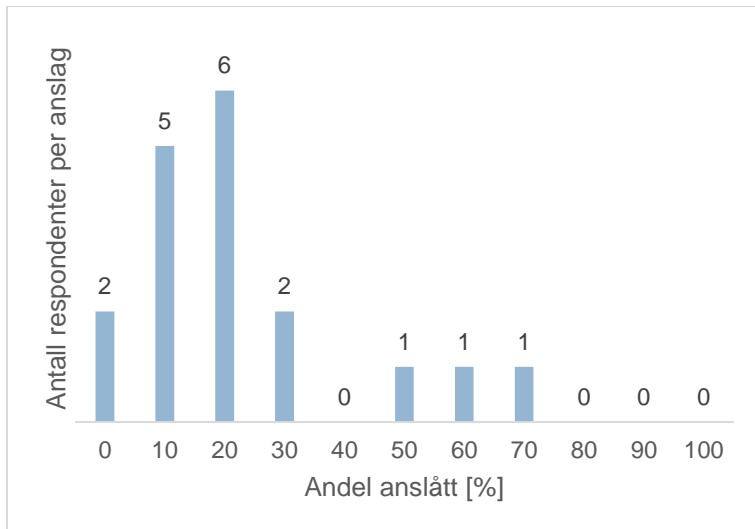
Variasjonsbredde 30
Empirisk standardavvik 10
Forventningsverdi 14

7) Hvilken andel av fraksjonen trevirke vil du anslå er engangspaller?



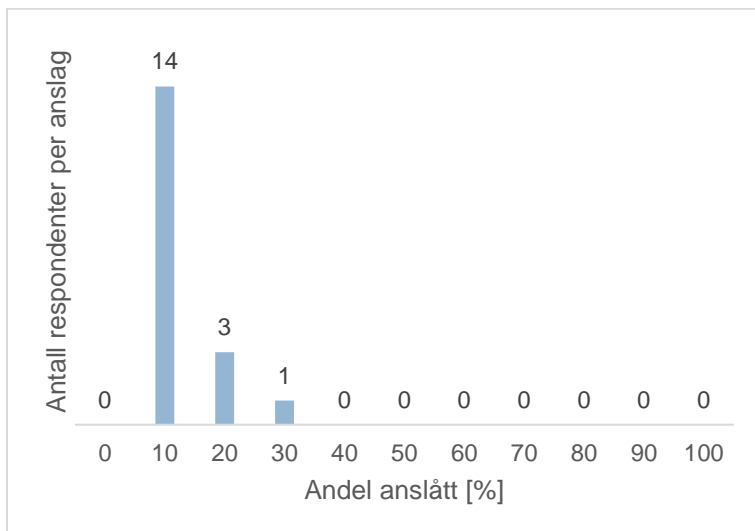
Variasjonsbredde 70
Empirisk standardavvik 20
Forventningsverdi 28

8) Hvilken andel av fraksjonen trevirke vil du anslå er emballasje?



<i>Variasjonsbredde</i>	70
<i>Empirisk standardavvik</i>	20
<i>Forventningsverdi</i>	23

9) Hvilken andel av fraksjonen trevirke vil du anslå er OSB-plater?



<i>Variasjonsbredde</i>	20
<i>Empirisk standardavvik</i>	6
<i>Forventningsverdi</i>	13

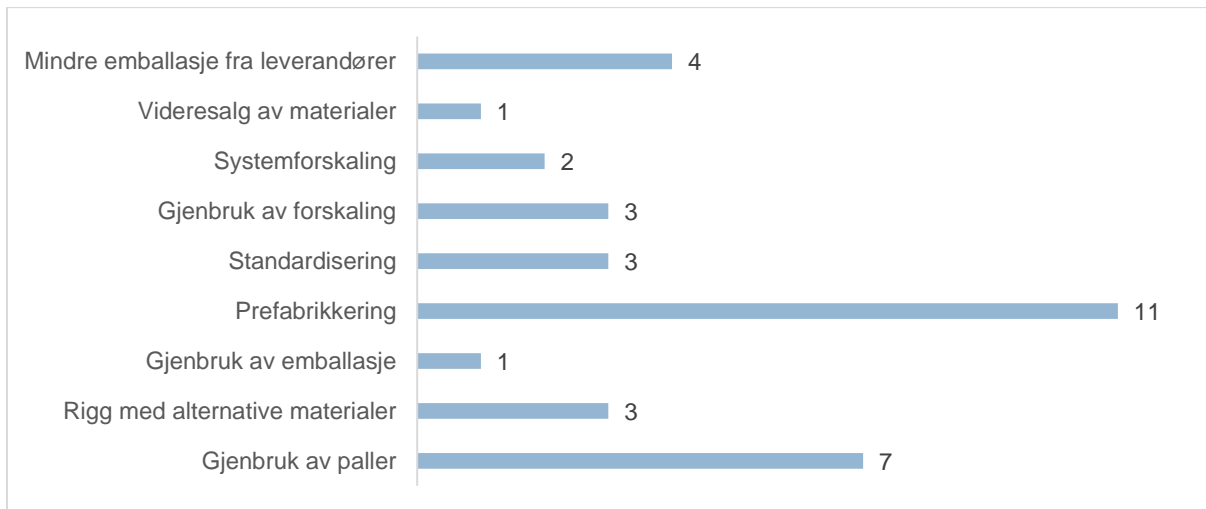
Vedlegg

10) Er det andre trematerialer som inngår i fraksjonen trevirke?

Er litt usikker på hva forskjellen på trevirke og trelast er men det benyttes flere typer plater til vegger og gulv for eksempel: Huntonitt, finer og sponplater.

Trær og plantemateriale.

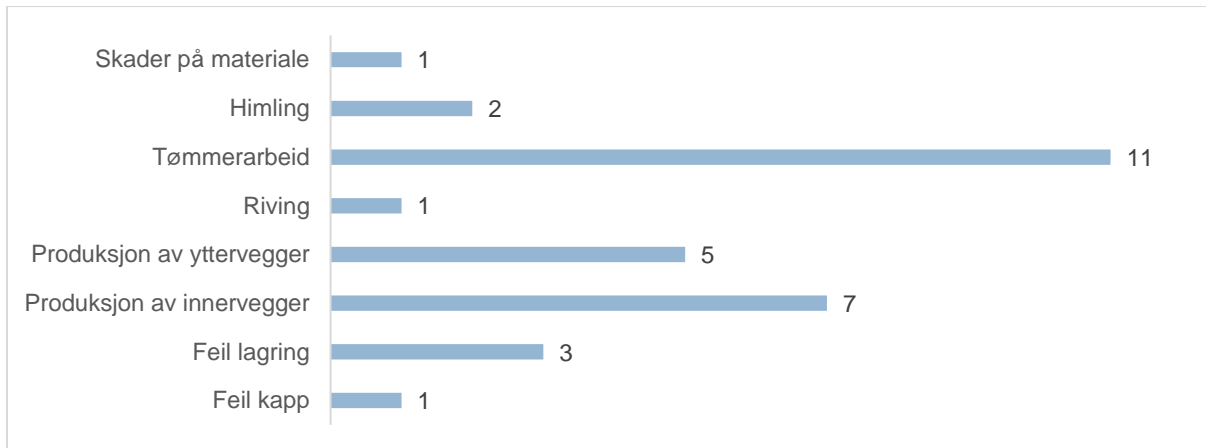
11) Hvilke muligheter ser du for reduksjon av trevirke-avfall på byggeplassen?



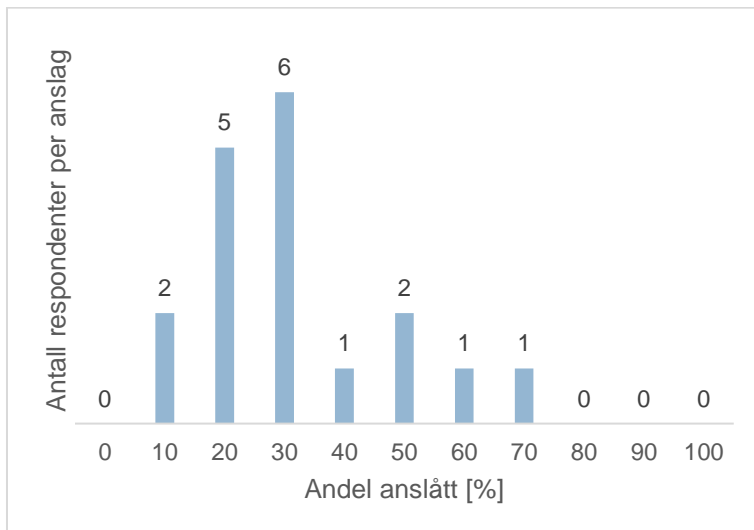
12) Annet?

Ingen svar.

13) Hvilke aktiviteter genererer avfall i form av gips?



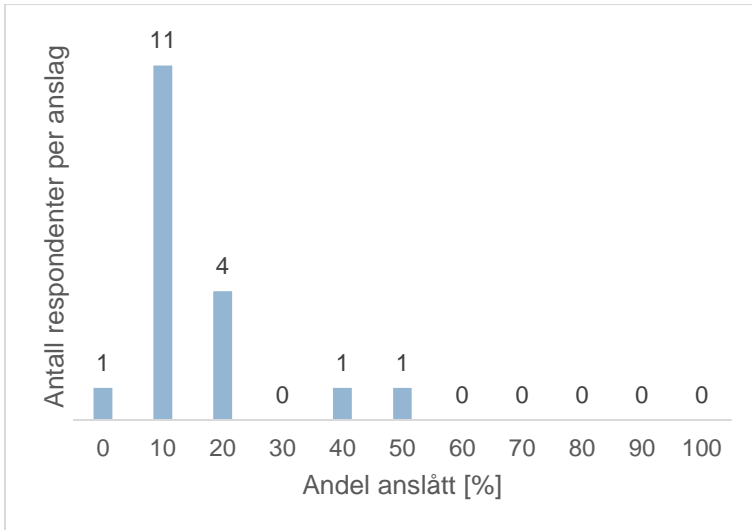
14) Hvilken andel av fraksjonen gips vil du anslå kastes grunnet ineffektiv bearbeiding?



<i>Variasjonsbredde</i>	60
<i>Empirisk standardavvik</i>	17
<i>Forventningsverdi</i>	32

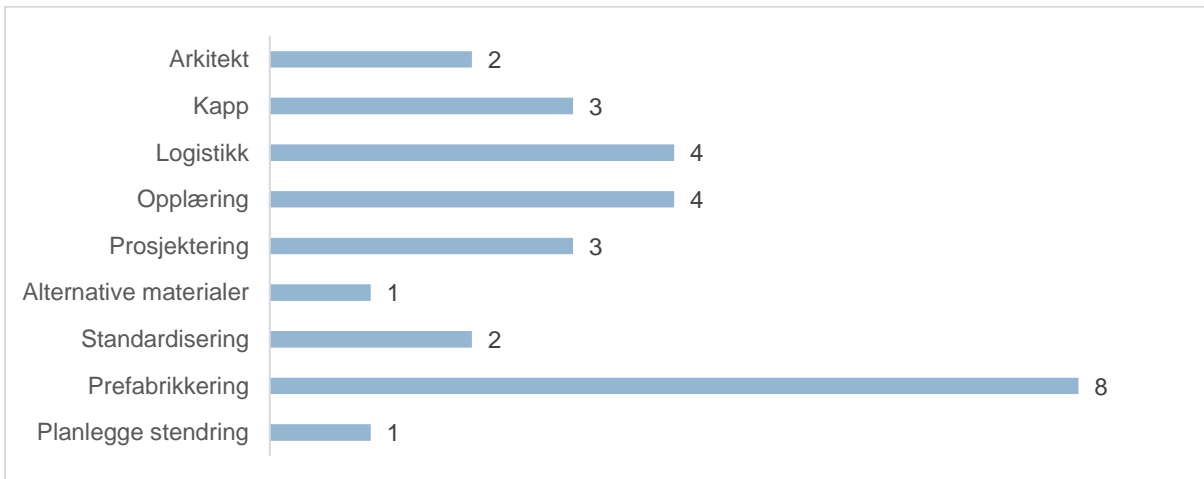
Vedlegg

15) Hvilken andel av fraksjonen gips vil du anslå kastes grunnet mangelfull oppbevaring?



<i>Variasjonsbredde</i>	50
<i>Empirisk standardavvik</i>	12
<i>Forventningsverdi</i>	16

16) Hvilke muligheter ser du for reduksjon av gips-avfall på byggeplassen?



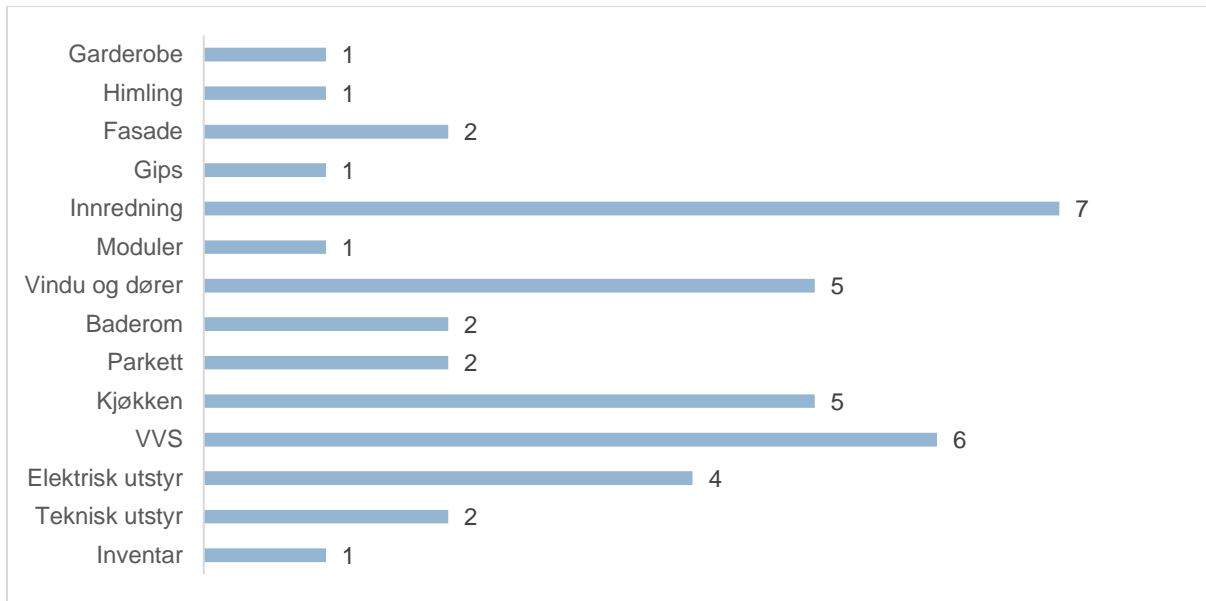
17) Annet?

Vårt prosjekt er et rent innredningsprosjekt, og all gips oppbevares innvendig.

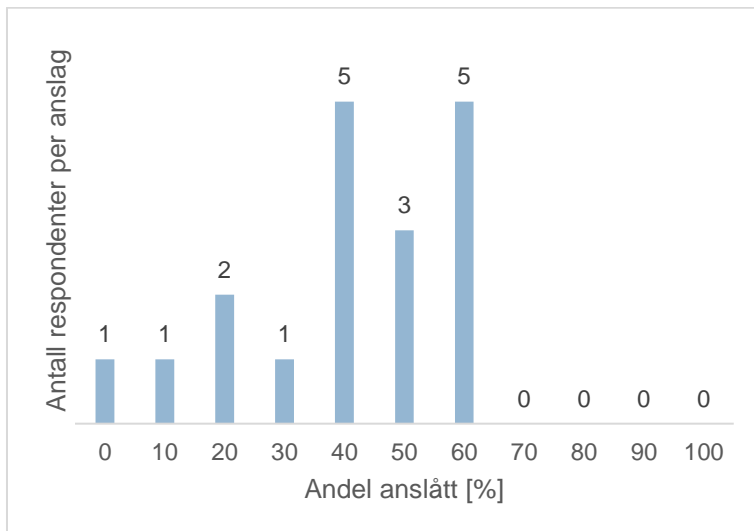
Det går med mye gips og ressurser på å bøte på skader etter f.eks liftkjøring. Spesielt blir det ressurskrevende om det brukes spesialgips som Fermacell som ikke kan skjæres og skrues som vanlig. Fermacell må sages med dykksag. Her er støvsugerne som finnes i markedet for svake til å ta unna tilstrekkelig.

Vedlegg

18) Hvilke leveranser medfører mest emballasje på byggeplassen?



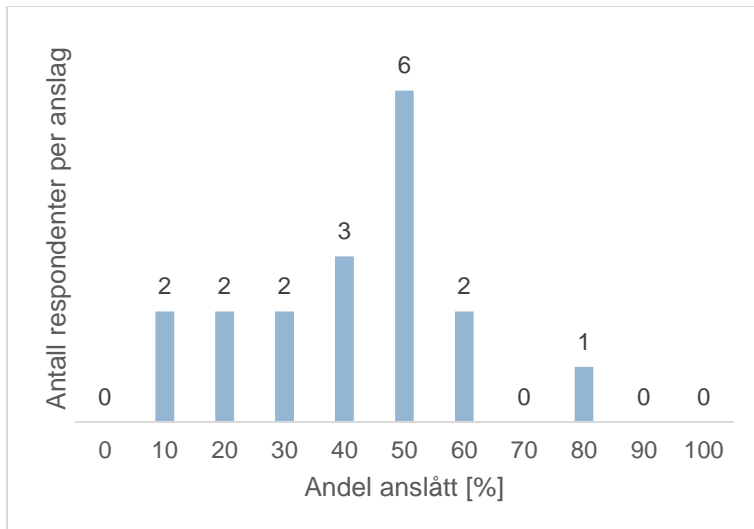
19) Hvilken andel av fraksjonen emballasje vil du anslå er papp og papir?



<i>Variasjonsbredde</i>	60
<i>Empirisk standardavvik</i>	18
<i>Forventningsverdi</i>	41

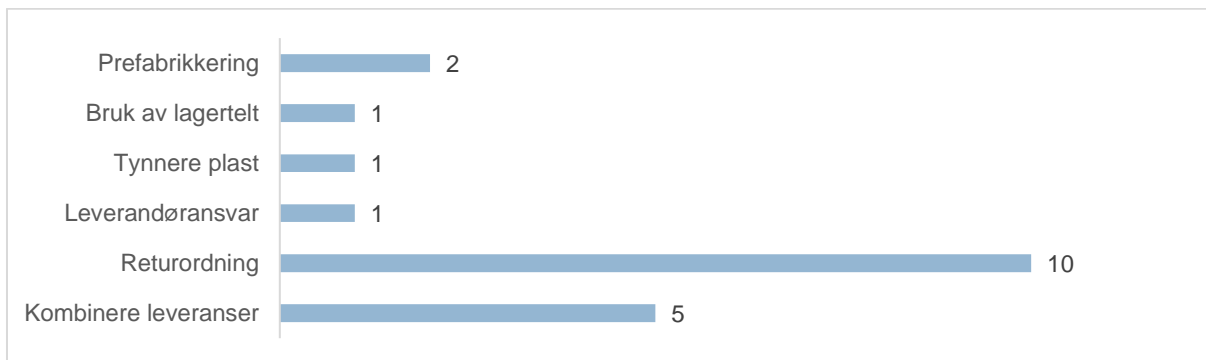
Vedlegg

20) Hvilken andel av fraksjonen emballasje vil du anslå er plast?



<i>Variasjonsbredde</i>	70
<i>Empirisk standardavvik</i>	18
<i>Forventningsverdi</i>	41

21) Hvilke muligheter ser du for reduksjon av emballasje-avfall på byggeplassen?

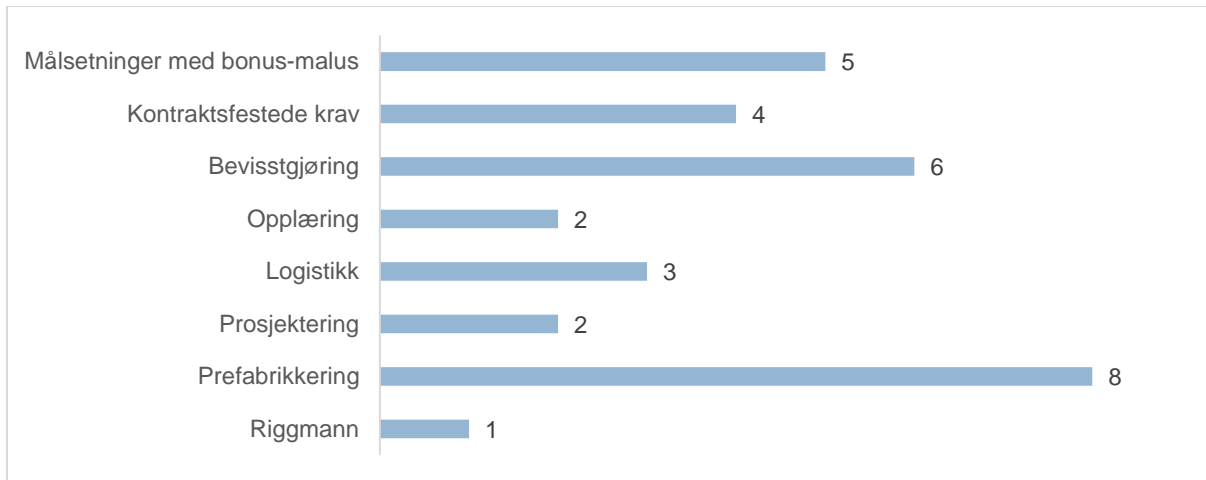


22) Annet?

Tildekking av ferdige gulv er også en stor kilde til pappavfall.

Vedlegg

23) Hvilke andre tiltak tror du kan bidra til avfallsreduksjon på byggeplassen?



24) Har du noen andre tanker, idéer eller tilbakemeldinger knyttet til Skanskas arbeid mot avfallsfrie byggeplasser?

Jeg synes dette er et supert tiltak som ikke burde være så hårete å nå!

Ser for meg reduksjon, men avfallsfrie byggeplasser ser jeg for meg blir umulig.

Fokus bør være på hvordan vi kan redusere mengde tilført avfall ved valg av produksjonsmetoder (precut/element), samt å sette strengere krav til våre leverandører og UE. Kreve gjenbruk av emballasje, og returordninger fremfor engangsemballasje.

Kutt ut målet om 90% sorteringsgrad. Er alt for dyrt og holde på sånn. 70-80% er enkelt å oppnå. 90% krever stor riggplass og koster prosjektene svært mye

isolasjon/mineralull burde også være en fraksjon man vurderer tiltak på. Her kastes det mye som en følge av dårlig oppbevaring/tildekking

Bra tiltak.

25) Annet?

Akkurat i disse tider for oss på Sør-Vestlandet er vi i et TØFT marked og kommersielle byggherrer går stort sett på pris. Da blir grad av avfallssortering kost/nytte-beregning.

Har sett et offentlig anbud (skole) som vi har gitt pris på har premiering/gebyr (gradert) i forhold til et 0-nivå som går på kg/m2.

Vedlegg C: Intervjuguide - Avfallsreduksjon

1. Bakgrunn

Optimal avfallshåndtering og sirkulær tankegang er viktige tema for å oppfylle internasjonale ambisjoner, eksempelvis Parisavtalen, så vel som nasjonale ambisjoner, for eksempel 40 % utslippsreduksjon innen 2030 og lavutslippssamfunn i 2050. Gjenvinning av materialer vil ikke alene være tilstrekkelig, og oppgaven ønsker å kartlegge potensielle tiltak i arbeidet mot *avfallsfrie byggeplasser*. Oppgaven ønsker å konkretisere relevante tiltak knyttet til utvalgte avfallsfraksjoner, hvordan disse kan implementeres i praksis, hvordan digitale verktøy og kunstig intelligens kan benyttes i implementeringen, og forventede gevinster fra tiltakene.

Følgende forskningsspørsmål er definert:

- Hvilke tiltak er relevante for reduksjon av prioriterte avfallsfraksjoner?
- Hvordan kan de identifiserte tiltakene implementeres?
- Hvordan kan kunstig intelligens bidra i implementeringen av tiltakene?
- Hvordan kan tiltakene bidra til økt bærekraft?

Jeg tar kontakt med deg på bakgrunn av stillingen du innehar per dags dato, men dersom du i tidligere stillinger eller gjennom tidligere erfaringer har innhentet relevant informasjon og kunnskap kan dette også gjerne være en del av samtalen.

2. Gjennomføring

Intervjuene vil gjennomføres som semistrukturerte dybdeintervjuer, hvor intervjuobjektet får noen veiledende spørsmål, men også får anledning til å komme med egne tanker, refleksjoner og erfaringer omkring temaet. Det er ønskelig å benytte lydopptak under intervjuet, for å sikre nøyaktig dokumentasjon, og skape en bedre dynamikk mellom intervjuer og intervjuobjekt. Der direkte intervjuer ikke er gjennomførbart, vil en mer formell struktur på intervjuet benyttes, og spørsmålene stilles per mail eller telefon.

3. Spørsmål

3.1. Personalia

- 3.1.1. Fullt navn
- 3.1.2. Faglig bakgrunn
- 3.1.3. Nåværende stilling

3.2. Dagens situasjon

- 3.2.1. Hvilke avfallsfraksjoner er mest problematiske per dags dato?
 - Med tanke på mengder?
 - Med tanke på sortering?
- 3.2.2. Hvilke aktiviteter genererer avfall i form av trevirke?
- 3.2.3. Hvilke aktiviteter genererer avfall i form av gips?
- 3.2.4. Hvilke leveranser medfører mest emballasje på byggeplassen?
- 3.2.5. Hvordan opplever du at avfallshåndtering vektlegges opp i prosjektet?
 - Byggherre
 - Entreprenør
 - Underentreprenør
 - Leverandører
 - Fagarbeidere
- 3.2.6. Opplever du en forskjell i hvordan interessentene vektlegger avfallshåndtering?
- 3.2.7. Hvordan opplever du overordnet fokus på avfallsreduksjon per dags dato?

3.3. Muligheter og tiltak

- 3.3.1. Hvilke muligheter ser du for reduksjon av avfall fra trevirke?
 - Rigg
 - Forskaling

Vedlegg

- 3.3.2. Hvilke muligheter ser du for reduksjon av avfall fra gips?
- Oppbevaring
 - Tilvirkning og bearbeiding
 - Ødelagte plater
- 3.3.3. Hvilke muligheter ser du for reduksjon av avfall i form av emballasje?
- 3.3.4. Hvilke oppstrøms endringer tror du kunne bidratt til avfallsreduksjon?
- 3.3.5. Hvilke endringer i produksjon tror du kunne bidratt til avfallsreduksjon?
- 3.3.6. Hvilke nedstrøms endringer tror du kunne bidratt til avfallsreduksjon?
- 3.3.7. Hvordan tror du de ulike interessentene kan bidra?
- 3.3.8. Hvor tror du det største potensialet for avfallsreduksjon ligger?

3.4. Avsluttende kommentar

- 3.4.1. Har du noen tanker eller ideer utover spørsmålene jeg har definert?
- 3.4.2. Har du forslag til andre jeg kan kontakte angående problemstillingen?

Spørsmål annotert med tall er spørsmålene slik de ble formulert til informantene.

Spørsmål annotert med [-] indikerer oppfølgingsspørsmål eller tema til inspirasjon.

Ikke alle spørsmål ble stilt til alle informanter. Intervjuguiden ble tilpasset hver informant, avhengig av informantens faglige bakgrunn og nåværende stilling. I noen intervjuer ble ordlyden eller vinklingen av spørsmålet justert til å bedre passe informantene.

Vedlegg D: Intervjuguide - Kunstig intelligens

4. Bakgrunn

Optimal avfallshåndtering og sirkulær tankegang er viktige tema for å oppfylle internasjonale og nasjonale ambisjoner. Gjenvinning av materialer vil ikke være tilstrekkelig, og oppgaven ønsker å kartlegge potensielle tiltak i arbeidet mot *avfallsfrie byggeplasser*. Oppgaven ønsker å konkretisere relevante tiltak knyttet til utvalgte avfallsfraksjoner, hvordan identifiserte tiltak kan implementeres i praksis, hvordan digitale verktøy og kunstig intelligens kan benyttes i implementeringen, og forventede gevinster fra tiltakene. Kunstig intelligens er antatt å utgjøre et betydelig, men foreløpig uutnyttet potensiale for bransjen.

Følgende forskningsspørsmål er definert:

- Hvilke tiltak er relevante for reduksjon av prioriterte avfallsfraksjoner?
- Hvordan kan de identifiserte tiltakene implementeres?
- Hvordan kan kunstig intelligens bidra i implementeringen av tiltakene?
- Hvordan kan tiltakene bidra til økt bærekraft?

Jeg tar kontakt med deg på bakgrunn av stillingen du innehar per dags dato, men dersom du i tidligere stillinger eller gjennom tidligere erfaringer har innhentet relevant informasjon og kunnskap kan dette også gjerne være en del av samtalen.

5. Gjennomføring

Intervjuene vil gjennomføres som semistrukturerte dybdeintervjuer, hvor intervjuobjektet får noen veiledende spørsmål, men også får anledning til å komme med egne tanker, refleksjoner og erfaringer omkring temaet. Det er ønskelig å benytte lydopptak under intervjuet, for å sikre nøyaktig dokumentasjon, og skape en bedre dynamikk mellom intervjuer og intervjuobjekt. Der direkte intervjuer ikke er gjennomførbart, vil en mer formell struktur på intervjuet benyttes, og spørsmålene stilles per mail eller telefon.

6. Spørsmål

6.1. Personalia

- 6.1.1. Fullt navn
- 6.1.2. Faglig bakgrunn
- 6.1.3. Nåværende stilling

6.2. Dagens situasjon

- 6.2.1. Hvordan vil du definere kunstig intelligens?
 - Skillet mellom kunstig intelligens og øvrige digitale verktøy?
- 6.2.2. Hvilke digitale verktøy kjenner du til?
- 6.2.3. Hvilke digitale verktøy brukes på byggeplassen?
- 6.2.4. Hvilke teknikker innen kunstig intelligens kjenner du til?
- 6.2.5. Hvilke teknikker innen kunstig intelligens brukes på byggeplassen?
- 6.2.6. I hvilken grad benyttes tilgjengelige verktøy og teknikker?

6.3. Muligheter

- 6.3.1. Hvilke muligheter ser du for digitalisering av prosesser og aktiviteter?
 - I forbindelse med avfallsreduksjon?
 - I andre deler av prosjektet?
- 6.3.2. Hvilke muligheter ser du for bruk av kunstig intelligens?
 - I forbindelse med avfallsreduksjon?
 - I andre deler av prosjektet?

Vedlegg

6.3.3. Hvilke muligheter og gevinster ser du for deg?

- Ved økt bruk av digitale verktøy
- Ved økt bruk av kunstig intelligens

6.3.4. Hvilke barrierer og utfordringer ser du for deg?

- Ved økt bruk av digitale verktøy
- Ved økt bruk av kunstig intelligens

6.4. Avsluttende kommentar

6.4.1. Har du noen tanker eller ideer utover spørsmålene jeg har definert?

6.4.2. Har du forslag til andre jeg kan kontakte angående problemstillingen?

Spørsmål annotert med tall er spørsmålene slik de ble formulert til informantene.

Spørsmål annotert med [-] indikerer oppfølgingsspørsmål eller tema til inspirasjon.

Ikke alle spørsmål ble stilt til alle informanter. Intervjuguiden ble tilpasset hver informant, avhengig av informantens faglige bakgrunn og nåværende stilling. I noen intervjuer ble ordlyden eller vinklingen av spørsmålet justert til å bedre passe informantene.

