



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2020 30 stp

Fakultetet for realfag og teknologi

Smarte kontorbygg – et klimatiltak?

En komparativ LCA-analyse av kontorbygg med og uten smartteknologi

Smart office building – a climate measure?

A comparative LCA analysis of office buildings with and without smart technology

Ole Ragnar Oppedal

Byggeteknikk og arkitektur

Forord

Denne masteroppgaven er avsluttende oppgave i byggeteknikk og arkitektur ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oppgaven tilsvarer 30 studiepoeng.

Jeg vil takke veileder Thomas Kringlebotn Thiis for konstruktive innspill underveis i prosessen, ikke minst i den begynnende fasen da prosjektet ble initiert. Jeg vil også takke alle som har vist interesse for oppgaven og som har bidratt med faglige innspill. I den sammenheng vil jeg særlig takke representanter fra byggenæringen som har tatt seg tid til å besvare e-poster når jeg var på jakt etter spesielle opplysninger.

Sammendrag

Smarte kontorbygg har i de seneste årene fått stor oppmerksomhet. Gevinster som redusert energiforbruk, økt produktivitet og bedre trivsel brukes i markedsføring av disse byggene. Byggebransjen er inne i en periode der miljø og klimavennlige bygg står på agendaen. Bygninger med nullklimagassutslipp knyttet til produksjon, drift og avhending har vært en målsetting. Også bygg som produserer mer ren og fornybar energi enn det forbruker over livsløpet er lansert. Mens det tidligere ble antatt at bruksfasen bidrar betydelig når det gjelder energibruk, har materialbrukens miljøpåvirkning nå kommet mer i fokus.

Uklarhet om hva et smartbygg er, og manglende standarder for slike bygg kan forsinke utviklingen av smartbygg fordi det da kan være vanskelig for byggeier å se gevinsten i forhold til investeringen. Den overordnede hensikten med masteroppgaven har vært å undersøke smarte kontorbyggs klimapåvirkning ved å gjennomføre en livssyklusvurdering fra vugge til grav. Det er antatt at smartbygg bidrar til redusert energibruk i driftsfasen, men den totale klimapåvirkningen er lite dokumentert. LCA-analysen viser at klimapåvirkning fra et kontorbygg med smartteknologi er høyere enn klimapåvirkning fra et kontorbygg uten smartteknologi over livsløpet. Smartbygg kan derfor ikke uten videre sies å være et klimatiltak.

I markedsføring av smarte kontorbygg er ytelser som bedre innemiljø, økt komfort og trivsel som kan bedre arbeidstakernes produktivitet mer iøynefallende enn byggets miljøprestasjon. Byggets interaksjon og samhandling med bruker muliggjort av sensorer integrert i et nettverk blir forstått som selve essensen i smartbyggkonseptet. Miljøperspektivet er ikke like tydelig markert.

Selv om et kontorbygg med smartteknologi er mer energieffektivt enn et kontorbygg uten smartteknologi bidrar hyppig utskiftning av smartkomponenter over livsløpet til at klimapåvirkningen blir høyere for kontorbygg med smartteknologi. Mens det i debatten om lavenergibygg hevdes at produksjonsfasen blir like viktig som driftsfasen, vil driftsfasen fortsatt utgjøre en stor andel av klimapåvirkning gjennom livsløpet for kontorbygg med smarthusteknologi.

Smartteknologi bidrar til mer effektiv arealutnyttelse. Hvis denne gevinsten tas ut i et kontorbygg med mindre areal enn det som ellers ville vært nødvendig, vil klimapåvirkningen bli betraktelig lavere. Det er særlig redusert utslipp til materialproduksjon som bidrar til denne positive klimaeffekten. Reduksjon av dette utslippet vil ha en større positiv effekt enn fremtidig redusert utslipp til energi.

Energibruk til datasentre representerer en større klimapåvirkning for kontorbygg med smartteknologi enn for kontorbygg uten. Utslipp fra skybasert server er betydelig lavere enn utslipp fra server plassert i bygget. Utslipp fra server drevet av 100% fornybar energi er betydelig lavere både for skybasert server og for server i bygg enn utslipp fra server drevet av 0% fornybar energi.

Abstract

Smart office buildings have received a lot of attention in recent years. Gains such as reduced energy consumption, increased productivity and better job satisfaction are used in marketing these buildings. The construction industry is in a period where environmental and climate-friendly buildings are on the agenda. Buildings with zero greenhouse gas emissions related to production, operation and disposal have been targets. Also, buildings that produce more clean and renewable energy than the consumer over the life cycle have been launched. While it was previously believed that the use phase contributes significantly in energy use, the environmental impact of material use has now come into focus.

Uncertainty about what a smart building is and a lack of standards for such buildings can delay the development of smart buildings because it can then be difficult for the building owner to see the gain in relation to the investment. The overall purpose of the master's thesis has been to investigate smart office buildings' climate impact by conducting a life cycle assessment from cradle to grave. It is believed that smart buildings contribute to reduced energy consumption during the operational phase, but the overall climate impact is not satisfactory documented. The LCA analysis shows that the climate impact from an office building with smart technology is higher than the climate impact from an office building without smart technology over the life cycle. Smart building can therefore not simply be said to be a climate measure.

In marketing smart office buildings, benefits such as better in-door environment, increased comfort and well-being that can improve the employer's productivity are more noticeable than the building's environmental performance. The building's interaction with occupants made possible by sensors integrated into a network is understood as the very essence of the smart building concept. The environmental perspective is not as clearly marked.

Although an office building with smart technology is more energy efficient than an office building without a frequent replacement of smart components over the life cycle, the climate impact will be higher for office buildings with smart technology. While it's argued in the debate on low-energy buildings that the production phase will be as important as the operating phase, the operating phase will still represent a large proportion of the climate impact through the life cycle of office buildings with smart technology.

Smart technology contributes to more efficient area use. If this gain is taken out in an office building with less space, the climate impact will be considerably lower. Particularly reduced emissions from material production contribute to this positive climate effect. Reducing this emission will have a greater positive effect than future reduced energy emissions.

Energy consumption for data centres represents a greater climate impact for office buildings with smart technology than for office buildings without. Emissions from cloud-based server are significantly lower than emissions from server located in the building. Emissions from server powered by 100% renewable energy are significantly lower for both cloud-based server and for server in construction than emissions from server driven by 0% renewable energy.

Figurliste

Figur 1. Bygg- og eiendomssektorens andel av norske klimagassutslipp.....	15
Figur 2. Hovedbestanddelene i intelligente bygninger.	29
Figur 3. Intelligente bygg og tilknyttet terminologi.....	30
Figur 4. Teknologiutvikling i bygg over tid.....	31
Figur 5. Ambisjonsnivå for næringsbygg.....	33
Figur 6. Oversikt over funksjonskrav og smartteknologiske løsninger på Smart predikativt nivå. Del 1	36
Figur 7. Oversikt over funksjonskrav og smartteknologiske løsninger på Smart predikativt nivå. Del 2.	37
Figur 8. Utviklingslinje fra «intelligente» til «smarte» og til fremtidens «tenkende bygg»...	40
Figur 9. Oppbygning av et smartbygg ifølge IBM.....	42
Figur 10. Separate systemer eller silosystem.	44
Figur 11. Integreerte systemer.....	45
Figur 12. Illustrert styring med app.....	47
Figur 13. De fire fasene i en LCA-analyse.....	53
Figur 14. Fastsetting av produktsystem.....	55
Figur 15. Illustrasjon av sammenhengen mellom oppstrøms- og nedstrømsprosesser.	56
Figur 16. Livsløpsfaser og systemgrenser.	57
Figur 17. Livsløpsfaser for et bygg over dets levetid.....	58
Figur 18. Tre forskjellige typer LCA etter formål og forventet bruk.....	59
Figur 19. Inngangsfaktorer og utgangsfaktorer i en enhetsprosess.	60
Figur 20. Systemgrenser og modulinndeling for livsløpet til byggevarer og bygg.....	64
Figur 21. Prosentvis fordeling av spesifikk energibruk.	71
Figur 22. Perspektiv av kontorbygningen.	74
Figur 23. Byggets sørfasade.	74
Figur 24. Byggets nordfasade.....	75
Figur 25. Byggets østfasade og vestfasade.....	75
Figur 26. Plantegning kjeller og plantegning 1. etasje.....	76
Figur 27. Plantegning 2. etasje og plantegning 3. etasje.....	77
Figur 28. Plantegning 4. etasje.....	78
Figur 29. Snitt av langside fra sør.	79
Figur 30. Snitt av kortside fra øst.....	79
Figur 31. Illustrasjon, snitt yttervegg	81
Figur 32. Illustrasjon, snitt av gulv mot grunn.....	82
Figur 33. Kompakte tak.....	88
Figur 34. Oppsett av byggeledelsessystemet til Schneider Electric.....	90
Figur 35. Visualisering pyramideform.	91
Figur 36. SmartX I/O-modul og en SmartX Controller Power Supply.....	92
Figur 37. SmartX RP-C-modul.	93
Figur 38. AS-P-modul og SmartX Controller Terminal Base.....	93
Figur 39. Illustrasjon av fleksibilitet til byggeledelsessystemet.....	94
Figur 40. Totalt utslipp for kontorbygg uten smartteknologi.....	100

Figur 41. Linjediagram av utslipp fordelt i LCA-faser.	100
Figur 42. Totalutslipp for kontorbygg.	102
Figur 43. Linjediagram av utslipp fordelt i LCA-faser.	102
Figur 44. Totalt utslipp med fordeling over LCA-fasene for begge kontorbygg.	104
Figur 45. Totalt utslipp fordelt etter type struktur og type energiforbruk.	105
Figur 46. Linjediagram som viser samlet utslipp over livstid begge kontorbygg.	106
Figur 47. Linjediagram som viser samlet utslipp over livstid begge kontorbygg med en levetid på smartteknologi på 20 år.	107

Tabelliste

Tabell 1. Utregning av antall vinduer og samlet areal for vinduene.	70
Tabell 2. Oversikt over antall kontorplasser.	73
Tabell 3. Krav til energieffektivitet TEK 17.	80
Tabell 4. Isolasjonstykkelse og U-verdi til vegg med romhøyde 3,5m.	81
Tabell 5. Minste nødvendige isolasjonstykkelse i gulvet.	82
Tabell 6. Luftlydisolasjon. Grenseverdier fra NS 8175 for kontorer.	84
Tabell 7. Lydisoleringsegenskaper for skillevegger.	85
Tabell 8. Trinnlydisolasjon. Grenseverdier fra NS 8175 for kontorer.	86
Tabell 9. Orienterende basisverdier for trinnlydnivå for dekker avhengig av flankeoverføring	86
Tabell 10. Trinnlydforbedringstallet for parkett og laminatgulv på tynne dempesjikt	87
Tabell 11. Isolasjonstykkelser for omvendt tak.	88
Tabell 12. Oversikt over markedets innendørs posisjoneringssystem	97
Tabell 13. Totalt utslipp fordelt på fasene.	101
Tabell 14. Totalt utslipp fordelt på fasene.	103

Forkortelser

BIM Building Information Model

BMS Building Management System

BREEAM Building Research Establishment Environmental Assessment Method

EPD Environment Product Declaration

FDVU Forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling

GHG Greenhouse Gases

GWP Global Warming Potential

HVAC Heating Ventilation and Air Conditioning

LCA Life Cycle Assessment

LCC Life Cycle Cost

LCI Life Cycle Inventory

LEED Leadership in Energy and Environmental Design

NZEB Nearly Zero Energy Buildings

SLP Service Life Periode

ZEB Zero Emission Buildings

ZEN Zero Emission Neighbourhoods

Innholdsfortegnelse

Innhold

Forord	3
Sammendrag	4
Abstract	6
Figurliste	8
Tabelliste	10
Forkortelser	11
Innholdsfortegnelse	12
1. Innledning	14
1.1 Bakgrunn	14
1.2 Formålet med masteroppgaven	17
1.3 Problemstilling	19
1.4 Avgrensninger og forutsetninger	19
1.5 Oppgavens oppbygning	20
2. Teori og forskning	21
2.1 Bygg- og eiendomsbransjens potensiale i forhold til utslippskutt	21
2.2 Klimabelastning i et byggs produksjon- eller driftsfase	22
2.3 Byggets levetid har betydning for miljøgevinst	25
2.4 Hva er et smartbygg?	26
2.4.1 Er intelligente og smarte bygg det samme?	27
2.4.2 Problemet med å definere smartbygg	32
2.4.3 Flere definisjoner av smartbygg	37
2.4.4 Fra smartbygg til tenkende bygg?	39
2.4.5 Smartbygg – et helhetlig konsept eller ei?	41
2.4.6 Komponenter og systemer i et smartbygg	42
2.5 State of art - smarte kontorbygg i Norge	49
2.5.1 Powerhouse Kjørbo	49
2.5.2 Sola Airport Arena	50
2.5.3 HasleLinje	51
2.6 Livsløpsvurdering (LCA)	53
2.6.1 Fastsetting av hensikt og omfang	54

2.6.2 Livsløpsregnskap	59
2.6.3 Livsløpseffektvurdering	61
2.6.4 Tolkning	62
2.7 Regnskaps- og konsekvens-LCA.....	63
2.8 LCA i bygg	64
2.9 Bundet energi og bundne klimagassutslipp	67
2.10 Miljøpåvirkning fra klimagasser – globalt oppvarmingspotensial	68
3. Metode.....	69
3.1 Kontorbygg uten smartteknologi	72
3.1.1 Bygningsmodell	72
3.1.2 Generalitet og fleksibilitet	72
3.1.3 Materialbruk og design	73
3.1.4 Bygningskomponenter	80
3.1.5 Diverse installasjoner	89
3.2 Smart kontorbygg.....	89
3.2.1 SmartX Schneider Electric.....	89
3.2.2 Sensorer.....	95
3.2.3 In-door positioning system.....	96
3.2.4 Serverrom.....	97
3.2.5 Energiforbruk.....	99
4. Resultater	100
4.1 Kontorbygg uten smartteknologi	100
4.2 Smartkontor	102
4.3 Sammenligning av kontorbygg med og uten smartteknologi	103
5. Diskusjon	106
6. Konklusjon	110
7. Veien videre.....	112
Referanser	113
Vedlegg.....	119

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Statistikk fra Miljødirektoratet 2019 viser at bygg- og eiendomssektoren bidrar med forholdsvis små direkte¹ utslipp – 1,5 prosent av de totale utslippene av klimagasser - men hvis Norge skal nå sine klimamål vil denne sektoren likevel kunne spille en stor rolle. Årsaken til dette er at bygg- og eiendomssektoren gjennom måten den forvalter sin innkjøpsmakt på, kan ha stor innvirkning på utslipp i andre sektorer, f.eks. i industri-, transport-, energi- og avfallssektoren. At bygg- og eiendomssektoren er sitt ansvar bevisst når det gjelder å minske miljøbelastninger kan derfor ha stor betydning.

De direkte klimagassutslippene fra bygg- og eiendomssektoren skyldes i hovedsak fossil oppvarming av bygg og fossil energibruk på bygg og anleggsplasser. Offentlige klimatiltak har derfor i første omgang vært rettet mot å fjerne oppvarming fra bl.a. olje og parafin og i neste omgang også få ned utslipp fra bygge- og anleggsplasser (Bygg21, 2018). Innsats over tid har ført til en betydelig nedgang i utslippene - fra et utslipp på 2,5 millioner tonn CO₂-ekvivalenter² i 1990 til 0,8 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2018. Dette utgjør en nedgang på 68 prosent i denne perioden, se figur 1 (Miljødirektoratet 2019). Det er særlig husholdningene som har bidratt til denne nedgangen. Utslipp fra næringsbygg, bygg i primærnæringer og i bygg- og anleggsvirksomhet har så langt ikke hatt en tilsvarende nedgang.

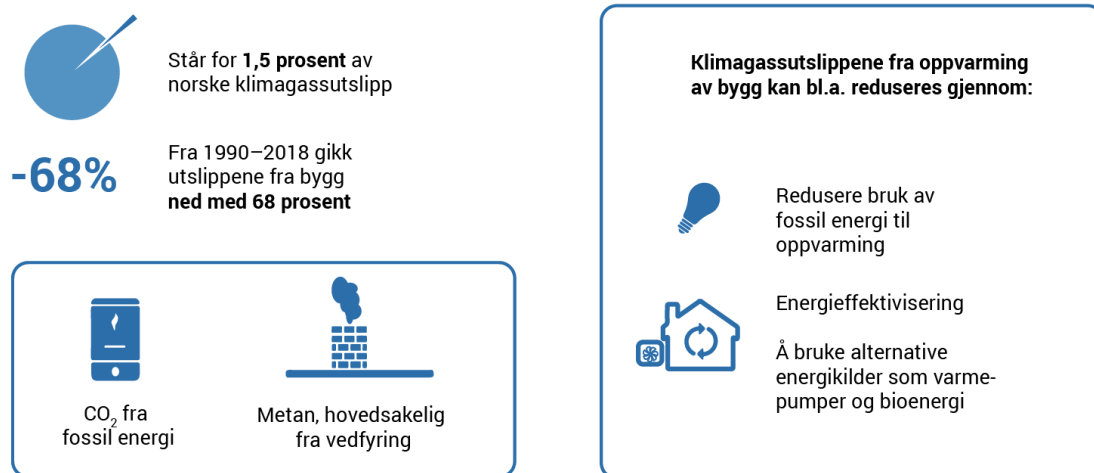
I den femte rapporten fra FN's klimapanel (The Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC 2014) fremgår det at vinduet for å begrense de mest alvorlige konsekvensene av klimaendringene, er lite. Gjennom Parisavtalen i 2015 har Norge forpliktet seg til å redusere utslippene med 40 prosent innen 2030. Strategisk vil det være lurt å satse på de tiltakene som har størst klimagevinst, ikke bare i et langsiktig, men også i et kortsiktig perspektiv. Med utgangspunkt i den relativt korte tidshorisonen som FN's klimapanel opererer med, bør tiltak som gir umiddelbar effekt prioriteres. Hvis utslipp som foregår i dag kan reduseres, vil det ha

¹ Med direkte utslipp siktes det til de klimagassene som skyldes bruk av ulike former for energi i selve bygningen, f.eks. oppvarming med gass, vedfyring, olje og parafin.

² CO₂-ekvivalenter er en benevnelse som brukes for å kunne sammenligne de ulike klimagassenes evne til å varme opp atmosfæren. Utslipp av en gitt klimagass målt i CO₂-ekvivalenter er et uttrykk for hvor mye CO₂ som skal til for å gi tilsvarende oppvarming. GWP (globalt oppvarmingspotensial) er et uttrykk for hvor sterk gassen er, og brukes som omregningsfaktor. GWP for CO₂ er per definisjon lik 1, mens metan har GWP på 25 og lystgass har 298. Mange av f-gassene har svært høye GWP-verdier (Miljødirektoratet 2019).

stor effekt siden klimagasser som akkumuleres i atmosfæren vil ha konsekvenser for den globale oppvarmingen i mange hundre år fremover. Bærekraftig materialvalg har en umiddelbar positiv miljøeffekt, mens redusert energiforbruk gjennom byggets livsløp er en effekt som tas ut over tid. Det er imidlertid ikke nødvendig å se på dette som et spørsmål om enten/eller, men tvert imot betrakte det som både/og. Det er mulig å ivareta både et kort- og langsiktig miljøperspektiv, dvs. å både ha høy bevissthet om utslipp til materialproduksjon og klimabelastning knyttet til driftsfasen. I et livsløpsperspektiv er poenget å angi klimabelastning i alle fasene i byggets levetid, dvs. fra produksjon til montering til bruk og til slutt avhending av bygget.³ Materialgjenvinning inngår også i et slikt miljøregnskap.

KLIMAGASSUTSLIPP FRA OPPVARMING AV BYGG



Miljødirektoratet 2019 / Miljøstatus.no

Figur 1. Bygg- og eiendomssektorens andel av norske klimagassutslipp.

Mens direkte utslipp fra bygg- og anleggsvirksomhet bare utgjør en mindre andel av norske utslipp, står byggsektoren for innkjøp av 40 prosent av materialressursene. Tall fra 2006 viser at klimagassutslipp fra produksjon og transport av byggevarer utgjorde 8 prosent av nasjonale utslipp (Byggemiljø 2007). Utslipp i andre land som vi importerer materialer fra, må

³ I en litteraturstudie (Sartori et al., 2007) ble fokus rettet mot energibruk i driftsfasen sett i forhold til energibruk oppstrøms, dvs. energibruk til uttak av råmaterialer, produksjon, montering og transport. Det fremgår av analysene av 60 caser at det for de fleste vedkommende var slik at energibruk til drift bidrar mest i et livsløpsperspektiv. Det fremgikk også av undersøkelsen at lav-energibygg var mer energieffektive enn konvensjonelle bygg og at energibruk til produksjon av materialer (oppstrøms) utgjorde en større andel for disse byggene.

inkluderes i de totale klimagassutslippene. De miljøkrav som byggesektoren setter kan derfor ha stor innvirkning på materialindustriens klimagassutslipp. For å gjøre miljøregnskapet mer komplett må også transport av maskiner og materialer til byggeplasser inkluderes. En fersk rapport anslår at dette utgjør 25 prosent av tungtransporten i Norge. (Bygg21, 2018)

Byggsektoren har allerede tatt grep for å bidra til å redusere og dokumentere både direkte og indirekte utslipp. Gjennom BREEAM-sertifisering⁴ av bygg, deltakelse i prosjekter som FutureBuilt⁵, ZEB (Zero Emission Buildings)⁶ og ZEN (Zero Emission Neighbourhoods)⁷ og ved å gjøre «Eiendomssektorens 10 strakstiltak for byggeiere»⁸ forpliktende for bransjen, viser næringen at de tar miljøet på alvor. Eiendomssektorens veikart mot 2050 innebærer en visjon om en klimanøytral byggsektor, kjennetegnet av lukkede materialkretsløp og null utslipp av miljøgifter. Målet betegnes som ambisiøst, men anses som nødvendig stilt overfor en situasjon der det er fare for store klimaendringer, økende knapphet på naturressurser og en forventet stor befolkningsvekst. Eiendomssektoren er derfor innforstått med at en stor omlegging må til i form av et grønt skifte. Myndighetene kan ytterligere yte et positivt bidrag

⁴ BREEAM (Building Research Establishment Environment Assessment Method) er et verktøy for grundig og systematisk miljøsertifisering av bygninger.

⁵ FutureBuilt er program initiert av NAL i samarbeid med Husbanken som skal vise at det er mulig å utvikle klimanøytrale byområder og arkitektur med høy kvalitet. Målet er å realisere forbildeprosjekter med minimum 50 prosent reduserte klimagassutslipp fra transport, energibruk og materialbruk.

⁶ ZEB er et nasjonalt forskningscenter som har fokus på forskning, innovasjon og implementering av bygninger med svært lavt energibehov og uten netto klimabelastninger. ZEB har som mål å utvikle produkter for både eksisterende og nye bygninger som kan bidra til bygninger med null klimagassutslipp knyttet til produksjon, drift og avhending.

⁷ Forskningscenteret ZEN ble initiert i 2017 og har fokus på hva et nullutslippsområde kan innebære, bl.a. knyttet til en målsetning om at et område gjennom planlegging, prosjektering og drift av bygninger og tilhørende infrastrukturelementer kan ta sikte på å oppnå null utslipp av drivhusgasser over livsløpet.

⁸ De 10 anbefalte strakstiltak for små og store byggeiere er følgende: Miljøsertifisere organisasjonen (ISO 14001 eller Miljøfyrtårn for mindre bedrifter), fjerne fossil oppvarming (olje og gass), også til topplast, kun kjøpe bygningsprodukter uten innhold av helse- og miljøfarlige stoffer, innføre miljøledelsessystem, for eksempel en BREEAM-In-Use gjennomgang, på hele porteføljen og sette opp plan for kontinuerlig forbedring av byggene, gjennomføre en utredning om hva takflatene kan og bør brukes til, som for eksempel overvannshåndtering, energiproduksjon, rekreasjonsareal eller birøkt, premiere innovative løsninger og diskutere risikohåndtering, for eksempel gjennom å sette av en egen post i budsjettet for risiko ved utprøving av nye løsninger, kreve at arkitekten utarbeider plan for hvordan materialene kan demonteres og gjenbrukes ved ombygging eller riving og tilstrebe å finne løsninger og materialer som gir minst mulig avfall, bestille energibudsjett for beregnet reelt energibruk (i tillegg til beregningskrav i TEK) og dokumentasjon av hvilke tiltak som er gjort for å få ned forventet reelt energibruk i drift av bygget, etterspørre og prioritere bygningsprodukter som har lave klimagassutslipp (dokumentert gjennom EPD (Environmental Product Declaration) og etterspørre fossilfri byggeplass.

ved å bruke insentiver for byggeiere som gjennomfører tiltak som gir direkte og indirekte klimakutt.⁹

Byggenæringen er en sentral aktør i realiseringen av lavutslippssamfunnet. I den sammenheng er gode verktøy for å beregne klimagassutslipp viktig. Med NS 3720 er en ny metode for beregning av bygningers klimagassutslipp gjennom bygningens livsløp på plass. Den nye norske standarden er basert på den internasjonale standarden EN 15978 «Bærekraftige byggverk – Vurdering av bygningers miljøpåvirkning - Beregningsmetode». I forhold til den internasjonale standarden er den nye norske i langt større grad tydelig på hva som skal inkluderes i beregningene for at sammenligning med andre løsninger skal være rimelige og rettferdige. Den norske standarden åpner også opp for delberegninger der f.eks. bare prosjektets beliggenhet, konsekvenser av ulike materialvalg eller energiløsninger blir gjenstand for vurdering. Hvordan helhetlige klimagassberegninger skal foretas samt ulike varianter av omfanget av slike helhetlige beregninger blir også omtalt i standarden.

1.2 Formålet med masteroppgaven

Formålet med denne masteroppgaven er å sette fokus på hvilke miljøgevinster smarte kontorbygg har. Al Gore (2006) hevder at gamle vaner koblet med ny teknologi kan være en svært uheldig kombinasjon for miljøet. Ny teknologi i seg selv er m.a.o. ingen garanti for et bedre miljø. Sett i sammenheng med intelligente bygg peker Gadakari et al. (2014) på at teknologien i slike bygg kan gi uventede konsekvenser hvis det ikke tas tilstrekkelig hensyn til hva som er bærekraftig for miljøet. På den andre side kan teknologibruk utgjøre en betydelig positiv forskjell i forhold til et bærekraftig miljø. De hevder så at det finnes tegn på en viss usikkerhet hos noen aktører i bransjen i forhold til om intelligente bygninger fremmer bærekraft eller ikke. Det pekes i den sammenheng på at en luksuriøs livsstil står i motsetning til en bærekraftig livsform. I følge Gadakari et al. (2014) kan det synes som at to oppfatninger

⁹ Bransjen selv har anbefalte følgende 10 strakstiltak til myndighetene: Grønne bygg, det vil si bygg som tilfredsstillende miljøkrav, bør premieres gjennom incentivordninger som: egen byggesaksbehandler som bidrar til prioritert og løsningsorientert saksbehandling, reduserte byggesaksgebyrer, handlefrihet til økt utnyttelsesgrad i reguleringsplaner og lavere eiendomsskatt. Når det gjelder økonomiske støtteordninger anbefales følgende: Videreutvikle Enova-støtte til ambisiøse forblide prosjekter og eksisterende bygningsmasse, med krav om måloppnåelse i reell drift, og innføre Enova-støtte til energiledelse i bygg. I forhold til reguleringer anbefales følgende: Etablere en rehab-TEK med funksjonskrav tilpasset eksisterende bygg, etablere dokumentasjonskrav til eksisterende miljøkrav til materialer i TEK, innføre komponentkrav i tråd med Klimaforliket og innføre krav om å dokumentere klimagassutslipp fra bygg i TEK, inklusive utslipp fra energibruk og materialer.

gjør seg gjeldende; en som mener at bærekraftige bygg kan realiseres gjennom bruk av intelligente teknologiske systemer, og en som mener at naturlig energibesparende design er løsningen. Det innebærer bl.a. å utnytte fysiske prinsipper og naturlige drivkrefter for å klimatisere bygningen.¹⁰ Hos de sistnevnte pekes det på at disse er mer bærekraftig fordi de ikke trenger å bli oppdatert eller fornyet når det kommer til såkalte intelligente tekniske løsninger.

Noen har forsøkt å kombinere de to hensynene. I Buckman et al. (2014) sin definisjon av smartbygg er byggets fysiske utforming og design inkludert, dvs. at byggets systemer og arkitektur er integrert i bygget som helhet og bygger opp om dets funksjon og bruk. Det må tilføyes at i noen av de mest avanserte smartbyggene som er bygget, er arkitektoniske detaljer, smartkomponenter og systemer så tett sammenvevd at det er problematisk å skille ut de enkelte faktorerens bidrag til helheten.

Miljø er et viktig hensyn i smartbyggkonseptet, men smartbygg må likevel ikke forveksles med energieffektive bygg selv om det er flere likheter. Å kombinere bygningsfysikk med arkitektonisk smarte løsninger kan gi energieffektive bygg, men på et eller annet tidspunkt er det potensialet som finnes på dette området tatt ut. Det er da smartteknologi kan komme inn for at bygget skal bli enda mer energieffektivt og miljøvennlig (Walløe, 2017). Ny teknologi har gjort energiproduserende eller energipositive bygg mulig, og det kan diskuteres om ikke slike bygg kan kategoriseres som smartbygg. Walløe peker i den sammenheng på at disse byggene ikke nødvendigvis er tilpasset fremtiden i samme grad som smartbygg, og at i mangel av en spesifikk definisjon for smartbygg blir det vanskelig å ta stilling til dette.

Miljøaspektet ved smarte bygg blir brukt i markedsføringen av disse. Til tross for at digitaliseringen av bygg er i ferd med å skyte fart, kan fravær av definisjoner og rammer for smartbygg forsinke utviklingen av slike bygg i Norge. Fra bransjehold hevdes det at gevinsten i forhold til investeringen kan være vanskelig å få et klart bilde av når man ikke har en felles standard å forholde seg til. I et oppslag i *Teknisk Ukeblad* 27. mars 2018 under overskriften

¹⁰ Gruner et al. (2017) har i SINTEF Notat 22 med tittelen *Naturlig klimatiserte kontorbygg. En analyse av et «nullkonsept» i norsk klima* sett nærmere på et alternativ til «aktive» avanserte tekniske systemer der det brukes «passive» løsninger for å klimatisere bygningen. Et fullt naturlig klimatisert bygg blir i rapporten kalt et «Nullkonsept». Et slikt konsept er implementert i det østeriske kontorbygget «2226». I rapporten blir dette bygget analysert og sett i forhold til norsk klima og norske forskrifter og brukerkrav. Av analysen fremgår det at bygget har spesielle rammebetingelser mht. bruk, klima og forskriftskrav som muliggjør konseptet i Østerrike, men som ikke er direkte overførbare til norske forhold. I den sammenheng pekes det særlig på at innnetemperaturen om vinteren blir uakseptabel lav for Oslo-klimaet. Man har for øvrig gjort noen erfaringer med nullutslippskontorbygg i Norge (Kristjansdottir et al., 2013 & Hofmeister et al., 2015)

«Smarte bygg: I dag er det komplisert å se gevinsten i forhold til investeringen», etterlyser Rune Stene, daglig leder i Powerhouse-samarbeidet, standarder, og mener byggenæringen bør ta initiativ til dette slik at det kan bli lettere for leverandører å vite hvilke løsninger som er ønskelige i et smartbygg. Det kan også ifølge Stene medvirke til at det etableres et marked og en konkurranse om smarte løsninger.

Usikkerhet om hva smartbygg kan bidra med i forhold til miljøprestasjon kan indikere at det er behov for å se nærmere på dette. Et annet forhold som også kan gjøre det nødvendig å fokusere på miljøaspektet ved smartbygg, er at miljøkravene til nye bygg er skjerpet. TEK17 innebærer nye krav til energi og miljø. Når minstestandarden løftes kan avstanden til energieffektive bygg i front der den nyeste teknologien er tatt i bruk reduseres. I den sammenheng kan det være av interesse å se nærmere på forskjellen i miljøprestasjon mellom et bygg i tråd med TEK17 og et bygg der smartteknologi er installert.

1.3 Problemstilling

Med utgangspunkt i diskusjonen som har vært rundt smartbygg både om dens bidrag i forhold til en bærekraftig utvikling, og knyttet til den usikkerhet som mangel på en standardisering av smartbygg representerer, er følgende forskningsspørsmål valgt:

Hvilken klimapåvirkning har et smart kontorbygg sammenlignet med et kontorbygg uten smartteknologi?

For å besvare dette forskningsspørsmålet er følgende underspørsmål formulert:

- 1. Hvilken betydning har hyppig utskiftning av smartkomponenter for klimapåvirkning i et livsløpsperspektiv?*
- 2. Hvilken betydning kan bedre arealutnyttelse ha for klimafotavtrykket til et kontorbygg med smartteknologi?*
- 3. Hvilken betydning kan energibruk til datasentre ha for klimapåvirkning til et kontorbygg med smartteknologi?*

1.4 Avgrensninger og forutsetninger

Oppgaven er utelukkende opptatt av bærekraftighet knyttet til miljøgevinsten ved smarte kontorbygg sammenliknet med et kontorbygg med TEK17 standard der smartteknologi ikke

er inkludert. Andre dimensjoner ved bærekraftighet som økonomi og sosiale forhold vil derfor ikke bli berørt i oppgaven.¹¹

1.5 Oppgavens oppbygning

Etter å ha gjort rede for bakgrunn og formål med masteroppgaven samt presentert problemstilling og presisert noen viktige forutsetninger som oppgaven bygger på, vil det i kapittel to gjøres rede for teori og relevant forskning på området. Særlig vil diskusjonen om hva et smart bygg er bli gjenstand for oppmerksomhet. LCA-analyse generelt og i bygg spesielt vil det også bli redegjort for. I kapittel tre vil metoden som er brukt i beregning av klimapåvirkning i kontorbygg med og uten smartteknologi bli grundig redegjort for med særlig fokus på de valg som er foretatt og hvilke forutsetninger de bygger på. I kapittel fire blir resultatene fra analysen presentert. Diskusjon av de viktigste funnene blir foretatt i kapittel seks. Det gjøres også forsøk på å se disse i en større faglig og samfunnsmessig sammenheng. Viktige usikkerhetsfaktorer og forbehold blir også berørt. Kapittel syv oppsummerer de viktigste konklusjonene, og i kapittel åtte gis anbefalinger til videre arbeid.

¹¹ Bærekraftig utvikling slik det ble definert i rapporten *Vår felles framtid* fra 1987, består av tre dimensjoner: økonomi, miljø og sosiale forhold. Det er sammenhengen mellom disse tre dimensjonene som avgjør om noe er bærekraftig. Miljødimensjonen av bærekraftig utvikling dreier seg om å ta vare på naturen ved å redusere klimagassutslipp.

2. Teori og forskning

2.1 Bygg- og eiendomsbransjens potensiale i forhold til utslippskutt

Etter oppdrag fra Kommunal- og moderniseringsdepartementet har Bygg21¹² undersøkt nærmere hvordan bygg- og eiendomssektoren kan bidra for å redusere klimagassutslipp. I rapporten *Bygg- og eiendomssektorens betydning for klimagassutslipp* som kom ut i 2018 og som er skrevet av Katharina Bramslev, daglig leder i Grønn Byggallianse, fremgår det at ambisjonsnivået i denne sektoren er høyt, noe ikke minst følgende klimamål er et uttrykk for (Bygg21, 2018):

- Kraftig reduksjon av direkte utslipp fra oppvarming og kjøling av små bygg gjennom nytt oljeforbud
- Nær 100 prosent reduksjon i direkte utslipp fra bygg- og anleggsplasser
- Strengere krav til lavutslippsmaterialer kan redusere utslipp i industrisektoren
- Gjennom riktig lokalisering og fossilfri transport kan byggsektoren redusere utslipp i transportsektoren
- Byggsektoren kan frigi elektrisitet som kan erstatte fossil energi i andre sektorer
- Gjennom avfallsreduksjon og økt materialgjenvinning kan byggsektoren redusere utslipp i avfallssektoren.

Selv om utslipp fra oppvarming av bygg er små, er målet å redusere det kraftig gjennom oljeforbud. Vedtatt forbud mot bruk av fossil olje til oppvarming av bygg, også spisslast, trådte i kraft 01.01.2020. Som følge av dette forbudet antas det at utslippene fra oppvarming av bygg vil nærmest halveres til cirka 0,65 millioner CO₂-ekvivalenter i forhold til tall fra 2019 (Miljødirektoratet, 2019). Målet er at det skal reduseres ytterligere til 0,55 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030. Fra regjeringshold blir det også vurdert å utvide forbudet til også å omfatte fossil gass. I drift av varme- og kjøleanlegg kan lekkasjer forekomme, og det er derfor viktig at byggeier håndterer slike anlegg i tråd med regelverket slik at lekkasjer kan minimaliseres. I den sammenheng kan det være avgjørende at sertifisert personell er involvert i installasjon og avvikling (Bygg21, 2018).

Når det gjelder direkte klimagassutslipp fra bygg- og anleggsvirksomhet som næring viser en rapport fra 2017 at disse kan reduseres med 99 prosent og NO_x med 96 prosent. Det er

¹² Bygg21 er et samarbeid mellom bygge- og eiendomsnæringen og statlige myndigheter der målet for samarbeidet er å legge til rette for å finne gode løsninger på utfordringer knyttet til bærekraft, produktivitet og kostnadsutvikling.

gjennom bruk av alternative energikilder og en bedre planlegging der miljøhensyn er langt fremme i bevisstheten at en slik kraftig reduksjon lar seg realisere. Bruk av fjernvarme eller elektrisitet til oppvarming av byggeplassen og til betongherding er særlig effektivt for å realisere dette. Også bruk av elektriske anleggsmaskiner og at fossilt drivstoff erstattes med biodiesel i transport av masser, materialer, maskiner og avfall til og fra arbeidsplassen er tiltak som monner i miljøregnskapet.

Klimagassutslipp fra bygninger må ses i en større sammenheng der også indirekte utslipp fra materialbruk inngår. Produksjon av sement, kalk og gips, aluminium, ferrolegeringer, plast og gummi i tillegg til bearbeiding og impregnering av tre utgjør store utslippskilder i industrien. Bygg- og anleggssektoren er storforbruker av disse produktene. F.eks. går 100 prosent av produksjon av sement og kalk til bygg og anlegg.

En beregning som er foretatt når det gjelder klimagassutslipp knyttet til produksjon og transport av typiske bygningsmaterialer til et kontorbygg i størrelsesorden 58 000 m², viser et utslipp på rundt 26 000 tonn CO₂-ekvivalenter (Bygg21, 2018). Dette tilsier at en miljøanalyse av kontorbygg også bør ta hensyn til materialvalg.

2.2 Klimabelastning i et byggs produksjon- eller driftsfase

Østlandsforskning gjennomførte i 2011 på oppdrag fra Kommunal- og regionaldepartementet en litteraturstudie for å få oversikt over kunnskapsstatus når det gjelder byggematerialers klimabelastninger og hvilke utslag dette gir i et livsløpsperspektiv. I rapporten med tittelen «Kunnskapsplattform for beregning av klimabelastning fra bygg og byggematerialer» ført i pennen av Anne Rønning, Kari-Anne Lyng og Mie Vold, tas det utgangspunkt i to påstander som har gjort seg gjeldende i samfunnsdebatten om klimagassutslipp fra byggematerialer og bygg gjennom levetiden, dvs. fra vugge til grav, eller fra vugge til vugge hvis en også velger å ta hensyn til gjenbrukspotensialet (Rønning et al., 2011). Påstandene er som følger:

1. Klimabelastning av dagens byggverk er knyttet til driftsfasen
2. Ved lavenergibygging blir produksjonsfasen like viktig som driftsfasen

På bakgrunn av den litteraturen som er gjennomgått der LCA er tatt i bruk som metodikk for beregning av klimabelastninger for bygg og byggematerialer, blir følgende hovedfunn trukket frem:

- Miljøbelastninger og energibruk knyttet til drifts-, vedlikehold og utviklingsfasene (FDVU) har stor og større betydning enn produksjonsfasen for ulike materialer.
- Ved lavenergibygging vil den relative betydningen av produksjonsfasen for byggematerialer øke.
- Det gis ikke grunnlag til å hevde at en type bygningsmateriale skal gis prioritet framfor et annet med hensyn til miljøbelastninger.
- Ved å inkludere overordnede løsningsvalg, som medfører at flere faser og aktiviteter inkluderes i LCA, vil de totale miljøbelastningene gjennom byggets levetid øke. Viktighet og omfang de ulike fasene har, vil avhenge av både formålet med analysen, type bygg, bruksmønster med mer.
- LCA som metode gir mulighet til å vurdere miljøkonsekvenser ulike valg under tidligfaseplanlegging, til prosjekteringsfase og FDVU-faser gir.
- Fordi det innenfor LCA-modellering gis muligheter til store variasjoner i beregningsmetoder vil en kunne få ulike resultater med hensyn til miljøbelastninger. Variasjonene forklares i forhold til formålet med studien, datagrunnlag og -kvalitet som benyttes og hvordan systemgrenser fastsettes (hvilke faser som inkluderes/ekskluderes).
- Standarder gir beskrivelser av hva som skal med i en analyse, men ikke hvordan beregninger skal foretas og med hvilket datagrunnlag.
- Eksisterende modeller og metoder for beregning av LCA presenterer resultatene i en form som ikke nødvendigvis er tilpasset aktuelle aktører i byggenæringens behov for miljøinformasjon. De er heller ikke tilpasset eksisterende verktøy som tradisjonelt er i bruk i byggeprosessen.
- LCA brukes i størst grad til å dokumentere konsekvenser av allerede fastlagte valg og beslutninger eller gjennomførte byggeprosjekter, og i mindre grad som planleggingsverktøy for simulering av konsekvenser av valg i ulike faser av byggeprosessen eller gjennom levetiden til bygget.

I rapporten understrekes det at bygningers miljøprestasjon er knyttet til mange forhold, bl.a. til hvordan de er utformet, hva de er konstruert av, hvor de er plassert og hvordan de brukes. Slike faktorer må ses i sammenheng når et byggs miljøprofil skal vurderes. Hva som er en tilfredsstillende miljøprofil vil ifølge rapporten være avhengig av politiske føringer, utbyggers

ambisjonsnivå m.m. Det er verdt å merke seg at rapporten slår fast at man i for liten grad tar i bruk det potensialet som LCA har som beslutningsverktøy. Livsløpsvurderinger kan med fordel brukes for å vurdere om et bygg lever opp til overordnede miljømålsettinger eller simulere miljøbelastninger som ulike valg har på den totale miljøprestasjonen for bygget gjennom hele levetiden. I denne oppgaven vil særlig utskifting av smartkomponenter gjennom byggets livsløp bli viet oppmerksomhet.

Etablering av EPD-Norge og Statsbyggs krav om EPDer (Environmental Product Declaration) for byggevarer og krav om at klimagassregnskap blir utarbeidet for nye byggeprosjekter, har resultert i at bruk av LCA/EPDer har økt. For å sikre en fortsatt økning av levetidsbetraktninger peker rapporten på at bakenforliggende datagrunnlag og beregninger for LCA blir kvalitetssikret for å øke troverdigheten. Det etterlyses også en bedre tilrettelegging for bruk av resultater i konkrete byggeprosesser, i produktutvikling og i overordnede prioriteringer både på statlig og kommunalt nivå. I rapporten listes følgende tiltak opp for å styrke troverdighet til beregninger:

- Sikre lik beregningsmetodikk for LCA av byggevarer gjennom utvikling av PCR (produktkategoriregler) for byggevarer og for sammensatte bygningsdeler som f.eks. ytterveggsløsninger, takkonstruksjoner, etasjeskiller.
- Utvikle og gjøre tilgjengelig datagrunnlag:
 - Etablere nøkkeltall eller erfaringsdatabase for levetider i praksis for vedlikehold og utviklingsfaser
 - Kartlegge sammenhengen mellom bruksmønster og energibruk
- Klarlegge sammenhengen mellom byggs tilpasningsdyktighet og konsekvenser for vedlikehold og utskiftinger
- Etablere konsensus om hvordan miljøtiltak for ulike byggematerialer kan beregnes på byggnivå i hele byggets livsløp; m.a.o. hvordan koble material- og byggtekniske egenskaper ulike materialer har, alene eller i samspill med andre materialer.

Med NS 3720 - en ny metode for beregning av bygningers klimagassutslipp gjennom bygningens livsløp – er flere av disse anbefalingene tatt til følge.

2.3 Byggets levetid har betydning for miljøgevinst

I klimagassberegninger er det vanlig å operere med en tidshorisont på 60 år når energibruk, transportbehov, materialbruk etc. skal beregnes. Hvis levetid økes til 100 år kan det ha konsekvenser for konklusjonene som trekkes i forhold til valg av materialer og løsninger. Skreddersydde bygninger kan gi en umiddelbar positiv klimagevinst, men faren er at de i liten grad ivaretar fremtidige endringsbehov. Å designe bygg som har god fleksibilitet i den forstand at det tar høyde for framtidig ombygging, kan ha en stor framtidig klimagevinst dersom det hindrer riving og reduserer behov for nybygging i fremtiden. Fleksible bygg der ombyggingsmuligheter er forberedt kan gjøres ved å etablere robuste bæresystemer og fremføringer av tekniske installasjoner, dekkeløsninger, horisontale og vertikale lydkrav, enkle tilslutninger av innervegger mm. Fasader og vindusløsninger kan etableres med rytme og derfor er fleksibel i forhold til ulike romløsninger. Etasjehøyder som ivaretar framtidige ombyggingsbehov, er en del av denne forberedte fleksibiliteten.

Gjenbruk av materialer gjør behovet for produksjon av nye materialer mindre, og er derfor et tiltak som gir en positiv klimagevinst. Å designe for demontering og gjenbruk innebærer ikke klimabelastning av betydning sammenliknet med utslipp knyttet til produksjon av nye materialer. Massivtrevegger er fleksible i den forstand at de er velegnet for demontering og flytting til nye posisjoner. Det samme er boltede stålkonstruksjoner og bjelker når de kan demonteres og gjenbrukes i sin opprinnelige form uten ressurskrevende omsmelting.

Klimagassutslipp fra bygg blir i stor grad forbundet med energibruk i driftsperioden (Buyle, et al., 2013). Nye og strengere energikrav vil resultere i at energibruk til drift vil vise en nedgang i et lengre perspektiv. Energibruk knyttet til å produsere, transportere og sette opp bygg vil i et kortsiktig perspektiv bli viktigere fordi det kan gi størst klimagevinst her og nå (Resch og Andresen, 2018). I en livsløpsanalyse vil energibruk i ulike faser være inkludert. Det innebærer at også byggematerialers klimabelastninger vil være en del av det totale klimaregnskapet. Analysen vil kunne få frem hvilke faktorer som påvirker klima og miljø i størst grad i et livsløpsperspektiv.

2.4 Hva er et smartbygg?

Som det er redegjort for innledningsvis har det vært en diskusjon om hvorvidt bærekraftige bygg best lar seg realisere gjennom bruk av intelligente teknologiske systemer eller om naturlig energibesparende design er den beste løsningen. Kan de to oppfatningene som Gadakari et al. (2014) viser til, også spores i debatten om hva et smartbygg er?

Følgende spørsmålet har vært sentrale i diskusjonen om hva et smartbygg egentlig er. Er det hele bygget som sådan som er smart, eller er det bare utvalgte komponenter som installeres i bygget som er smarte? Hvilke gevinster gir et smartbygg fremfor andre bygg? Hvor lang levetid har et smartbygg? En presis definisjon av smartbygg har blitt etterlyst. Ulik terminologi har også bidratt til uklarheter. Benevnelser som intelligente, automatiserte, kognitive, adaptive, analytiske og digitale bygg har blitt brukt, og det har bidratt til at noen knytter smartbygg til energieffektivitet og effektiv drift gjennom installasjon av tekniske smartkomponenter, andre til optimalisert interaksjon mellom bygg og bruker, og andre igjen forbinder det med at bygget er i å stand til å tenke selv (Walløe, 2017). Usikkerheten rundt hva smartbygg innebærer kommer også til uttrykk i artiklene «What is a Smart Building?» (Buckman et al., 2014) og «What is an intelligent building? Analysis of recent interpretations from an international perspective» (Ghaffarianhoseini et al., 2015). Buckman et al. (2014) registrerer at begrepene smart og intelligent har blitt brukt om hverandre uten at en klar distinksjon mellom begrepene har blitt foretatt. Problemet med dette er at ulike aktører kan bruke forskjellig terminologi om det samme, eller samme begrep om forskjellige ting. Buckman et al registrerer også en utvikling i retning av at begrepet smart nå i større grad synes å ha fått et hegemoni, og at dette begrepet antas å representere neste generasjons byggeindustri. Smartbygg kan sees som en del av digitaliseringen som vi så langt bare har sett begynnelsen av.

Walløe (2017) konstaterte at smartbygg i 2017 hverken var standardisert eller definert i Norge. De forsøk på å beskrive et smartbyggs innhold og funksjon som forelå handlet mer om å klargjøre enkeltaktørers egen forståelse av konseptet heller enn et ønske om å komme frem til en felles forståelse i form av en definisjon som kunne gjøres gjeldende på tvers av bransjer og sektorer. Det kan tilføyes at tempoet i dagens teknologiutvikling, som smartbygg definitivt er en del av, gjør en slik konsensus krevende, ikke minst fordi noen mener at en definisjon kan begrense utviklingen mens andre tvert imot ser for seg at det vil forsere utviklingen.

Smartbygg består av ordene smart og bygg. Ordet smart er et in-ord i vår tid, og smarttelefon og smartklokke kan stå som to eksempler på hvor utbredt det er å tilføye ordet smart til noe. Ifølge bokmålsordboken betyr smart lur og dreven, men det kan også bety intelligent og gløgg. Om elektronisk teknologi kan det forstås som det «som kobler sammen funksjoner fra ulike systemer; selvtenkende» (ordbok.uib.no). Når ordet ses i sammenheng med teknologi sikter det til «automatisering, digitalisering, enkel styring og oversikt, å være tilkoblet til internett eller en form for lærende teknologi» (Walløe, 2017). Ordet bygg kan også forstås på ulike måter, men er i denne studien definert som kontorbygg.

2.4.1 Er intelligente og smarte bygg det samme?

I den nevnte artikkelen «What is an intelligent building?» (Ghaffarianhoseini et al., 2015) blir det gjort rede for hvordan intelligente bygg har blitt forstått fra slutten av 1980-tallet og frem til i dag. Mens tidlige definisjoner ensidig fokuserte på teknologiens rolle, ble andre faktorer som brukernes interaksjon med bygget, miljøhensyn samt økonomiske aspekt etter hvert trukket inn. Tre aspekt ved intelligens har på bakgrunn av denne utviklingen blitt fremhevet; teknologi, funksjon og økonomi. Disse kan ifølge So, Wong & Wong (2011, referert i Ghaffarianhoseini et al. 2015) klassifiseres slik:

- a. Environmental friendliness – sustainable design for energy and water conservation; effective waste disposal; zero pollution.
- b. Space utilization and flexibility.
- c. Value-giving quality for economic whole lifetime costs.
- d. Human health and well-being.
- e. Working efficiency and effectiveness.
- f. Safety and security measures – fire, earthquake, disaster, and structural damages.
- g. Culture; meeting client expectations.
- h. Effective innovative technology.
- i. Construction and management processes.
- j. Health and sanitation (s. 340-341).

Selv om en allment anerkjent standarddefinisjon av intelligente bygninger ikke har vært tilgjengelig har likevel tre betingelser - som ble skissert allerede i 1987 for å betegne bygningen som intelligent, hatt et visst gjennomslag:

- *Buildings should 'know' what is happening inside and is immediately outside.*
- *Buildings should 'decide' the most efficient way of providing a convenient, comfortable and productive environment for the occupants.*
- *Buildings should 'respond quickly to occupants' requests* (Bennett et al. 1987, referert i Atkin, 1988).

I nyere tid har intelligente bygg også blitt knyttet til læring så vel som til mulighet for selv å justere seg til omgivelsene som et resultat av input på ulike områder. Byggets evne til å «snakke» med brukerne gjennom å dele informasjon trekkes frem som en egenskap ved intelligente bygg. Bygninger som ikke er i stand til å gi brukerne en briefing etterlater dem «intellectually, physiological, emotionally, behaviourally and spiritually unstimulated» (Kerr, 2013, referert i Ghaffarianhoseini et al., 2015, s. 341).

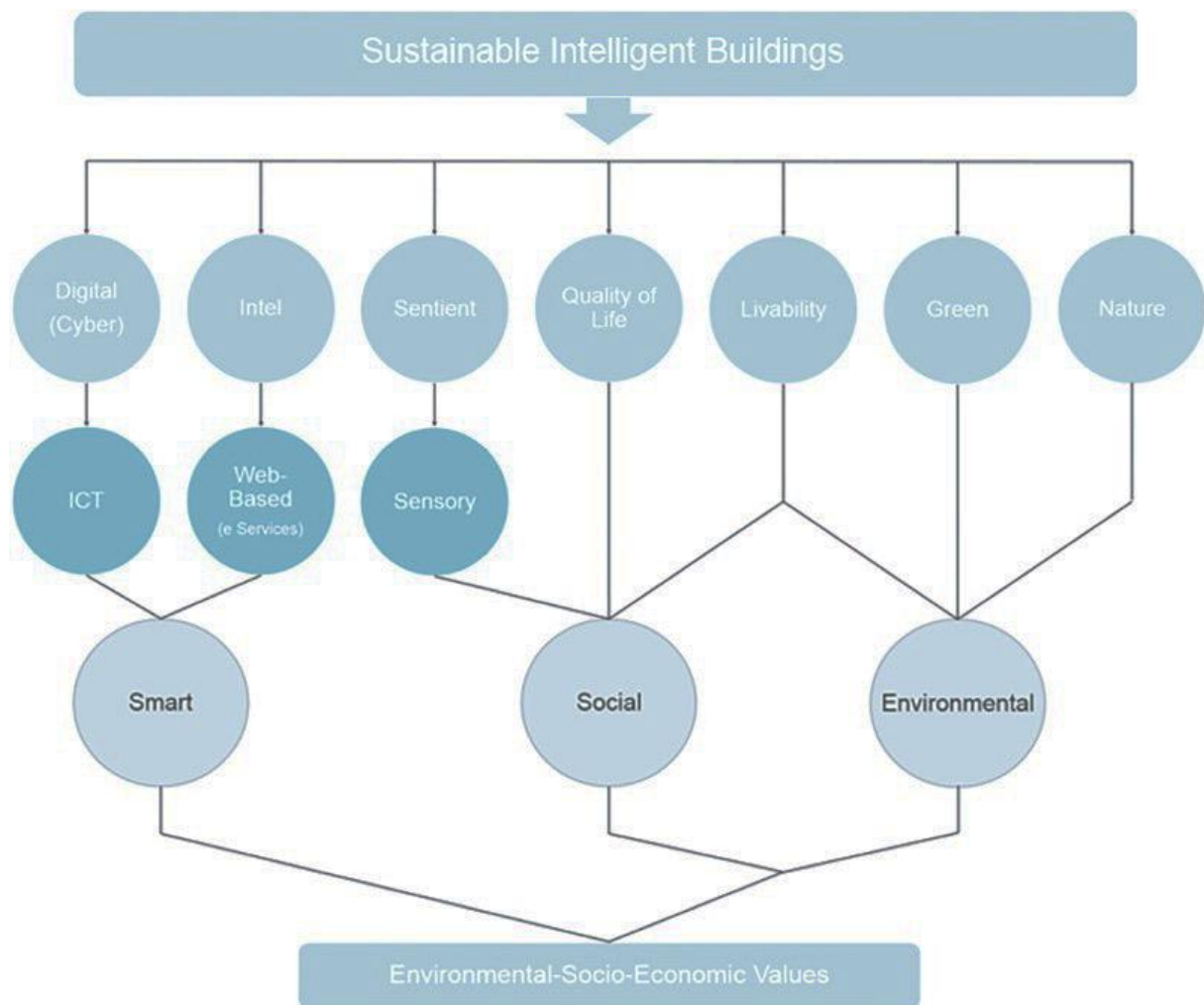
Ghaffarianhoseini et al. sin gjennomgang av forskningslitteraturen viser at forståelsen av intelligente bygg kan kategoriseres på følgende måte: ytelses-, system og tjenestebaserte definisjoner. De utdyper kategoriene slik:

The performance-based definitions [...] predominantly concentrate on the building performance and the expectations and increasing demands of users (and of society) while considerably less attention is given to the integrated technologies and intelligent systems. The service-based definitions mainly characterize the IBs [intelligent buildings] based on their quality of services. On the other hand, the system-based definitions generally refer to the technological systems and integrated intelligence used in the buildings but linked to the occupant's responses (Ghaffarianhoseini et al., 2015, s. 341).

Denne korte gjennomgangen av intelligente bygg synliggjør mange likhetstrekk med smartbygg. For begge vedkommende siktes det til bygg der automasjon, IT og andre teknologiske komponenter og systemer er installert for å optimalisere ulike funksjoner i bygget. Like fullt diskuteres det om smartbygg og intelligente bygg er det samme, om det ene kom før det andre eller om det ene er en del av det andre.

Ghaffarianhoseini et al. (2015) knytter smart til kapasiteter som kognisjon, problemløsning, kunnskapservervelse, minne, kreativitet og motivasjon. Spørsmålet er så om disse aspektene ved menneskets intelligens kan gjenfinnes i bygg. Forfatterne viser i den forbindelse til at begrepet «selvbevisste» bygninger er brukt om sensorer i nettverk som er mottakelig for informasjon fra det omgivende miljøet, og som setter bygget i stand til å foreta optimal tilpasning. En slik evne har klare konnotasjoner til menneskelig intelligens og smartness.

Ghaffarianhoseini et al. (2015) antyder at slike evner er inkludert i intelligente bygg: «Det er indikert at konseptene digital og cyber design, pluss automasjonsstrategier, og avanserte teknologier er hovedbestanddeler i intelligente bygg, samtidig som de sosiale og miljømessige dimensjonene er essensielle for en fullstendig representasjon av intelligente bygg» (Ghaffarianhoseini et al., 2015, Walløes oversettelse). Figur 2 illustrerer smart som en av flere hovedbestanddeler i det som betegnes som bærekraftige intelligente bygninger.

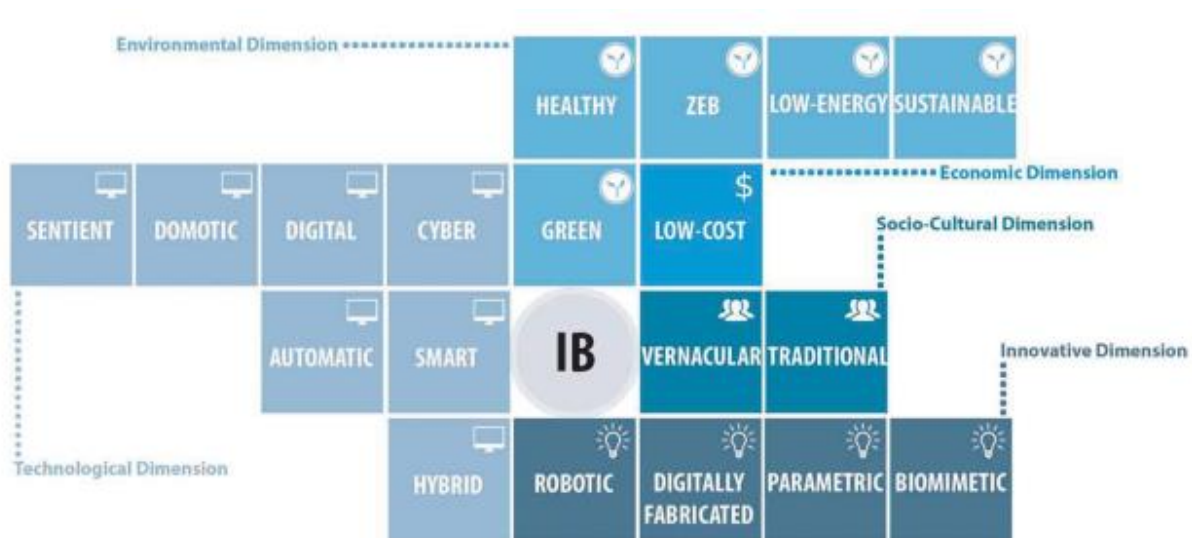


Figur 2. Hovedbestanddeler i intelligente bygninger (Clements-Croome, 2013).

Når Ghaffarianhoseini et al. (2015) skal utdype hva som menes med smartness i bygninger viser de til Buckman et al (2014) sin definisjon av smarthus: «Den innebygde smartnessen i bygg resulterer i et miljø som integrerer og gjør rede for intelligens, evne til å samle og behandle data, kontroll, og materialer og konstruksjon som et helt bygningssystem, med

tilpasningsevne, ikke reaktivitet, i kjernen, for å møte driverne for bygg-progresjon: energi og effektivitet, levetid, og komfort og tilfredshet» (s. 104, Walløes oversettelse).

De slår så fast at smartteknologi er en del av den utviklingen som har foregått innenfor paraplybetegnelsen intelligente bygninger for å integrere menneskelig og kunstig intelligens. I det siste har begrepet smarte byer også bidratt til at intelligente bygninger har fått økt fokus. Figur 3 viser hvordan intelligente bygg kan knyttes til ulik terminologi og til dimensjoner som teknologi, miljø, økonomi, innovasjon og sosiokulturelt miljø.



Figur 3. Intelligente bygg og tilknyttet terminologi (Ghaffarianhoseini et al., 2015).

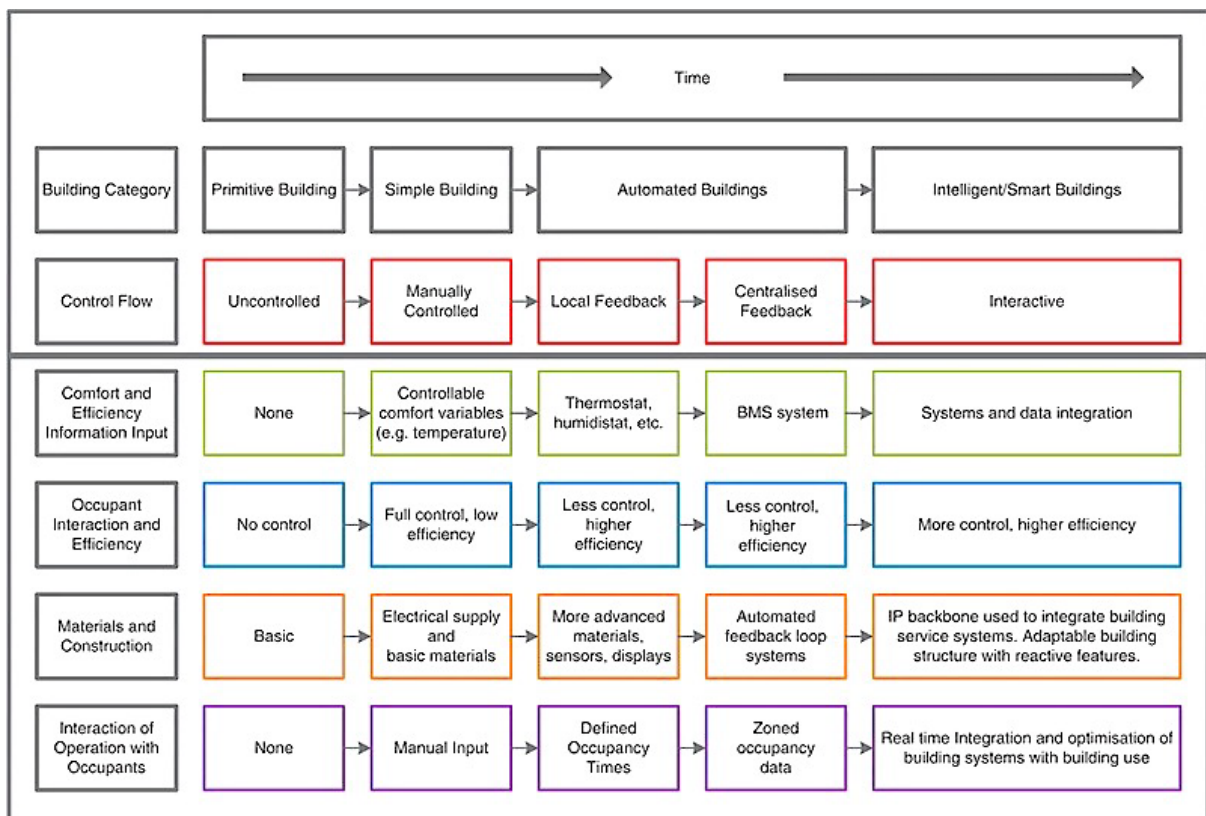
Sinopoli (2010) setter likhetstegn mellom smartbygg, intelligente og automatiserte bygg, og betrakter derfor smartbygg og intelligente bygg som synonyme for det samme. Følgende sitat illustrerer at smartbygg i hans optikk ivaretar mange hensyn, noe som bidrar til at konturene av et mer helhetlig perspektiv kan skimtes:

Smart buildings are not just about installing and operating technology or technology advancements. Technology and the systems in buildings are simply enablers, a means to an end. The technology allows us to operate the building more efficiently; to construct the buildings in a more efficient way, to provide productive and healthy spaces for the occupants and visitors, to provide a safe environment, to provide an energy-efficient and sustainable environment, and to differentiate and improve the marketability of the building (s. 2).

Sinopoli (2010) presiserer at smartbygg gir den mest kostnadseffektive tilnærmingen til design og bruk av teknologiske systemer i bygg. Mens den tradisjonelle måten gikk ut på å

designe, installere og operere hvert system separate (se figur 8), integreres og koordineres alle tekniske systemer både horisontalt og vertikalt i smartbygg (se figur9).

Buckman et al. (2014) ser på intelligente bygg som forløperen til smartbygg. Det innebærer at historien til smartbygg må ses i sammenheng med den utvikling som har funnet sted innenfor det forløp som intelligente bygg har vært igjennom. I figur 4 illustreres utvikling over tid fra primitive bygninger frem til vår tids smartbygninger. Selv om intelligente og smarte bygg her er plassert i den samme æraen, betrakter Buckman et al. (2014) smartbygg som etterfølger av intelligente bygg. Når de slår fast at intelligente bygg er reaktive mens smartbygg er adaptiv og derfor i stand til å nyttiggjøre seg intern og ekstern informasjon fra en rekke kilder slik at det kan tilpasse seg hendelser som ennå ikke har skjedd, blir dette hos Buckman et al. (2014) illustrerende for den nye tid som smartbygg representerer.



Figur 4. Teknologit utvikling i bygg over tid (Buckman et al., 2014).

Tidslinjen gir også et bilde av hvordan komponenter, systemer og målsetninger har utviklet seg. Smarte komponenters levetid sett i lys av en rivende teknologisk utvikling, blir det gjort rede for i oppgavens drøftingsdel.

Walløe (2017) er tilbøyelig til å støtte synet til Buckman et al. (2014) om at smartbygg etterfølger intelligente bygg. Begrunnelsen er heller pragmatisk, når det argumenteres for at det er lettere å forklare hva smartbygg er hvis man kan forholde seg til en kortere tidsperiode og ikke gå helt tilbake til 1980-tallet slik man må for intelligente bygg. En annen begrunnelse er at termen intelligente bygg synes å være heller ukjent i Norge, og at den derfor er vanskelig å forholde seg til.

2.4.2 Problemet med å definere smartbygg

Walløe (2017) har sett nærmere på utfordringen med å utvikle en definisjon på smartbygg for bl.a. å identifisere bakenforliggende årsaker til at ulike definisjoner sirkulerer, og hvorfor man vegrer seg for å utvikle konsensus i form av vedtatte definisjoner som så blir gjort gjeldende. En slik tendens kan registreres både i Norge og i andre land.

Den første utfordringen er knyttet til om definisjonen av smartbygg skal være en bred sekkebetegnelse eller en smal definisjon på et mer konkret detaljnivå. Siden det essensielle for smartbygg er integrasjon av moderne teknologi for å optimalisere byggets ytelser, kan en definisjon fort bli akterutseilt i forhold til teknologiutviklingen. Når smartbygg forblir udefinert, vil hva dette innebærer være i kontinuerlig endring. Et annet forhold som vanskeliggjør en konkret definisjon av smartbygg, er at krav til omfang og type teknologi for at et bygg skal kunne betegnes som smart kan være problematisk å ta stilling til. Walløe (2017) spør om installasjon av lyssensor og inngangsdører med bevegelsessensor som går opp automatisk er tilstrekkelig, eller om teknologien i et bygg må ha en viss kognitiv kapasitet før bygget kan kalles smart. Det sistnevnte er ofte det som et smartbygg er forbundet med.

For å bøte på problemet kan definisjonen heller enn å fokusere på omfang og type teknologi, i stedet rette oppmerksomheten mot virkning og intensjon. Fordelen med en slik tilnærming er at definisjonen sannsynligvis vil vare lengre og ikke gå ut på dato med en gang teknologi utvikler seg videre. Faren er at en slik definisjon er så vid at den er vanskelig å forholde seg til. En alternativ tilnærming er å forholde seg til tid og teknologi. Da vil definisjonen bli mer presis, men må til gjengjeld bli jevnlig oppdatert for å ikke komme på etterskudd i den teknologiske utviklingen. Ulempen kan da være at endringer finner sted så ofte at definisjonen blir vanskelig å forholde seg til.

Et kompromiss mellom de to første alternativene der en vid og generell definisjon av smartbygg suppleres med en kravspesifikasjon til teknologi kan ifølge Walløe (2017) utgjøre

et tredje alternativ. Fordelen med et slikt kompromiss er at aktørene har en standarddefinisjon å forholde seg til, samtidig som kravspesifikasjonen kan bli gjenstand for kontinuerlig oppdatering. Fordi den også inneholder konkrete spesifikasjoner er den egnet til å skjelle mellom smartbygg og de som ikke er det. Smartbygg som er gått ut på dato kan representere et problem for en slik tilnærming.

Nivå-inndeling av smartbygg representerer et fjerde alternativ. En slik tilnærming har paralleller med sertifiseringssystemene BREEAM, LEED og andre liknende systemer (Waløe, 2017). Problemet med bygg som er gått ut på dato blir ikke like presserende med en slik metode fordi man beholder tidligere definisjoner og betegnelser samtidig som utviklingen går videre.

Smart by Powerhouse¹³ har utarbeidet en veileder som angir fem ambisjonsnivå eller modenhetsnivå for smarte bygg (se figur 5).



Figur 5. Ambisjonsnivå for næringsbygg.

I veilederen blir det lagt opp til en nivådeling der grunnnivåene er vel definert, og der nye toppnivå kan legges til uten at de grunnleggende elementene må endres av den grunn. I veiledningen beskrives de ulike nivåene slik:

¹³ Powerhouse-samarbeidet består av Entra, Snøhetta, Asplan Viak, Skanska og miljøstiftelsen ZERO.

Automatisert

Et *Automatisert* bygg tilfredsstiller dagens høye krav til nye bygg, blant annet byggteknisk forskrift (TEK17), og grunnleggende forventninger de ulike interessentene har til et bygg. Fra et samfunnsperspektiv vil det si robuste og energieffektive bygg som ikke utsetter brukerne for store helsemessige risikoer.

Byggeieren kan på dette nivået forvente et bygg av god kvalitet med tilhørende lave livsløpskostnader. Leietakere på sin side kan være trygg på at bygget vil ha et godt arbeidsmiljø der temperatur, luft og lys styres automatisk basert på predefinerte nivåer og driftstider. Den samme forventningen til inneklima vil gjelde hver enkelt bruker og de vil oppleve bygget som tidsriktig.

Smart klar

Hverken brukerne eller leietakerne vil oppleve betydelig forskjell mellom et *Automatisert* bygg og et bygg på nivået *Smart klar*. De fleste endringene som dette nivået setter krav til, er i form av infrastruktur og systemer i bygget som tilrettelegger for å kunne nå de høyere nivåene. Eieren av bygget derimot, kan forvente seg et bygg med fremtidsrettede teknologier installert, noe som forenkler senere integrering av ny teknologi og legger grunnlaget for nye tjenester og økt brukerinteraksjon.

Eieren kan derfor forvente at bygget står seg bedre over tid og har en forlenget periode hvor det oppleves som moderne i leiemarkedet og blant brukerne. Risikoen for fremtidige endringskostnader er dermed redusert. Fra et samfunnsperspektiv vil et bygg av typen *Smart klar* først og fremst gi effekter i form av redusert miljøfotavtrykk, ettersom nivået setter krav til bedre energiytelse og smartere styring av varme og ventilasjon.

Smart standard

I et *Smart standard* bygg kan brukerne forvente seg vesentlige forskjeller fra de to foregående nivåene. Mulighetene for brukerpåvirkning tilknyttet inneklima vil øke betraktelig, samtidig som de vil oppleve en enklere hverdag ved at omgivelsene i større grad tilpasser seg deres preferanser automatisk, og at de for eksempel kan gå inn og ut av soner basert på biometriske data. Leietakerne kan forvente seg leiekostnader som i økende grad er tjenestebasert og følger behovet deres, samt enklere og bedre tilpasninger av bygget ved endrede behov.

Økt tilpasningsdyktighet over livsløpet vil også kunne ha betydelig verdi for eieren av bygget. Eieren skal på dette nivået kunne forvente et bygg der de tekniske løsningene er helhetlige og godt gjennomarbeidet med det resultat at bygget, dets digitale tvilling og integrerte systemer sikrer enklere drift. Til slutt vil samfunnet for øvrig se effekter i form av lavere energibruk (kWh) i drift, redusert toppbelastning (kW) fra bygget og dets nabolag, økt robusthet og nye sikkerhetsbarrierer.

Smart predikativt

Et *Smart predikativt* bygg vil predikere byggets tilstand og justere bygget basert på en stor mengde inputdata. Alle de fire hovedinteressentene vil på dette nivået oppleve et bygg som forbereder seg på kommende driftssituasjoner, justerer seg og/eller kommuniserer forslag til tiltak. Bygget vil rådgi og guide brukerne basert på deres egne preferanser. Leietakere, eier og samfunnet rundt vil kunne forvente at prediksjonsmodellene gir enda bedre energieffektivitet i drift og derav lavere driftskostnader og miljøbelastning. Bygget og nabolaget vil også kommunisere med utenforliggende nettverk om energibehov og nettbeklastning.

Videre vil bygget gi råd i daglig drift og forslag til bygningsmessige endringer som gir mer aktive kvadratmeter og øker verdien per kvadratmeter for både leietaker og eier. Nærmiljøet kan forvente et bygg som utnyttes bedre utenom normal arbeidstid og slik bidrar til å øke kvaliteten av omgivelsene. De første næringsbyggene som kan sies å holde dette nivået vil trolig få betydelig oppmerksomhet i markedet og samfunnet for øvrig. Både byggeier og leietakere vil derfor kunne forvente effekt i form av verdifull omdømmebygging og økt attraktivitet blant arbeidstakere og i eiendomsmarkedet.

Smart kognitivt

Et bygg på dette nivået vil utnytte store mengder historiske data og maskinlæring til å forbedre sine prediksjonsmodeller og systemer, uten at dette går på bekostning av brukeropplevelsen. Dette vil forbedre byggets energiytelse, redusere miljøbelastningen og bedre innneklimaet ytterligere, men trolig også marginalt på enkelte områder. Kunstig intelligens vil gjøre bygget i stand til å forutse hendelser som byggets eier, leietaker og bruker ikke nødvendigvis vil være i stand til å forutse selv, og gjennom dette øke opplevd kvalitet eller redusere deres risiko, f.eks. driftstekniske avvik som kan unngås med proaktive tiltak.

Et *Smart kognitivt* bygg vil sikre høy samfunnsmessig verdi i hele livsløpet ved at det utvikler seg og tilpasser seg fremtidige behov. Selv om noen bygg vil tilfredsstille enkelte av funksjonskravene på dette nivået innen få år, er det betydelig utviklingsarbeid som må til for å nå dette nivået på samtlige krav. Det første bygget som når dette nivået jevnt over, vil være en verdensnyhet

Per i dag kan de mest avanserte smartbyggene klassifiseres som Smart predikativ. Det smarte kontorbygget som initieres i denne oppgaven er på dette nivået, og indikerer samtidig hvilken forståelse av smartbygg som legges til grunn for analysen. I Powerhouse sin veileder for ressurseffektive og funksjonelle næringsbygg blir den muliggjørende smartteknologien gjort nærmere rede for. Ulike funksjonskrav og hvordan smartteknologiske løsninger kan møte disse kravene på et Smart predikativt nivå er også omtalt. Figur 6 og 7 gir en oversikt over noen av disse funksjonskravene og de tekniske løsningene.

Funksjonskrav	3. Smart Prediktivt
Termisk miljø	Temperatur styres regelbasert iht. informasjon om fremtidige hendelser, f.eks. møteromsbooking og værmelding. Systemet mottar og lagrer tilbakemeldinger fra unike brukere og responderer på disse, f.eks. ved å justere temperatur eller gi brukerne personlig veiledning.
Atmosfærisk miljø	Luftmengde styres regelbasert iht. informasjon om fremtidige hendelser, f.eks. møteromsbooking og værmelding. Systemet mottar og lagrer tilbakemeldinger fra unike brukere og responderer på disse, f.eks. ved å justere temperatur eller gi brukerne personlig veiledning.
Daglys og belysning	Lyssystemet mottar tilbakemeldinger fra unike brukere og gir brukerne informasjon og veiledning.

Figur 6. Oversikt over funksjonskrav og smartteknologiske løsninger på Smart predikativt nivå. Del 1

Funksjonskrav	3. Smart Predikativt
Integrering av styringssystemer ¹	Styringssystemene er prediktive og deler data om forventet fremtidig tilstand.
Tilgjengeliggjøring av data, f. eks. ved bruk av sensorer og multisensorer	Sensorsystemet er designet for høy pålitelighet gjennom selv-testende sensorer, enkel fornying av sensorer, og bruk av redundante sensorer om nødvendig.
Innsamling av strukturerte data og analysering av disse	Store datamengder brukes til prediksjon og annen brukerveiledning.
Modenhetsnivå på digital tvilling	Den digitale tvillingen utgjør en høyverdig digital kopi av det fysiske bygget og kan selv eller ved hjelp av tilknyttet programvare utføre simuleringer og predikere tilstanden til bygget ut i fra valgte scenarioer.
Tekniske nettverk	Nettverket monitorerer data-trafikk og detekterer anomale datastrømmer. Systemet varsler og håndterer avvik.
Nettilgang for byggets brukere	Et eventuelt kablet nett er felles for alle leietakere i bygget.
Mobil trafikk over trådløst nettverk	-
Posisjonering av mennesker og utstyr i bygget	Bygget tilbyr brukerne posisjoneringstjenester som lar de finne kollegaer og selv bli funnet.

Funksjonskrav	3. Smart Predikativt
Elektrisk energiforbruk og styring av enheter (belysning og utstyr)	Enhetene styres energi- og effekt optimalt basert på predikert behov (f.eks. basert på forventet bruk og værmelding). Simuleringer av samtidighet (f.eks. ved bruk av den digitale tvillingen) i forkant av bygging sikrer redusert installert effekt og økt kapasitetsutnyttelse.
Klimateknisk system og termisk energiforsyning	Systemet styres og driftes energi-optimalt basert på bruksmønster, grid-integrasjon og værmeldingstjenester. Systemet forbereder seg på kommende varme- og kuldeperioder ut fra faste algoritmer. Simuleringer av samtidighet i forkant av bygging sikrer reduserte dimensjoner.
Tilstandsbasert drift og vedlikehold	Tilstandsbasert prediktiv drift og vedlikehold som hensyntar værmelding, systemdata, bruksmønster og tilbakemelding fra brukere. Relevante status presenteres brukerne, f.eks. for renhold.
Sikkerhetssystemer mot naturskader (brann, flom, overflatevann, jordskred o.l.)	Sikkerhetssystemene er proaktive og hensyntar f.eks. værmelding. Ved utrykning har nødetater tilgang til informasjon om hvor det befinner seg folk i bygget.
Aktiv arealutnyttelse (best utnyttelse over dag/døgn/år)	Systemet inkluderer data om arbeidspraksis, produktivitet og tilfredshet for enkeltindivider, grupper og profesjoner, lærer av andre bygg, og genererer anbefalinger for best langsiktig arealutnyttelse.
Beslutningsunderlag for bygningsmessige endringer	Den digitale tvillingen genererer anbefalinger til bygningsmessige endringer basert på drifts-, miljø og brukerdata.

Figur 7. Oversikt over funksjonskrav og smartteknologiske løsninger på Smart predikativt nivå. Del 2

2.4.3 Flere definisjoner av smartbygg

Walløe (2017) viser til flere definisjoner av smartbygg for deretter å drøfte tre av disse. De er valgt dels fordi de anses som «treffende for Norge», og dels fordi de fremstår som svært forskjellige. De tre definisjonene er også egnet til å få frem de spenninger i forståelsen av hva

et smartbygg er som denne oppgaven tar utgangspunkt i. I det følgende skal disse tre definisjonene belyses nærmere:

Smartbygg er bygninger som integrerer og redegjør for intelligens. Det har et kompatibelt toppsystem med evne til å samle og analysere data, samt utføre handlinger og kontrollvirksomhet på bakgrunn av dette. Et smartbygg må sees som et helt bygningssystem, der både design, konstruksjon og materialvalg spiller inn. Et smartbygg er ikke reaktivt, men fleksibelt, med tilpasningsevne, for å kunne møte driverne for bygg-progresjon: energi og effektivitet, samt levetid, komfort og tilfredshet. Mengden informasjon tilgjengelig fra et bredt spekter av kilder, gjør det mulig for systemene å bli tilpasningsdyktige, og med det også muliggjøre at smartbygget selv forbereder seg til nye kontekster og endringer, uavhengig av tid (Buckman et al., 2014, s. 98-99, Walløes oversettelse).

Et smartbygg er et bygg der automasjon, IKT- og digitale systemer, verktøy og komponenter er benyttet og integrert, i den hensikt å optimalisere byggets funksjon og drift. Å optimalisere byggets funksjon og drift betyr i denne sammenhengen at flere av følgende punkter er oppnådd: mer kostnadseffektiv drift av bygget, forbedre det fysiske arbeidsmiljøet i bygget, tilrettelegge for høyere effektivitet og produktivitet for brukere av bygget, forminske byggets negative miljøpåvirkning, forbedre brukeropplevelsen av bygget, øke sikkerheten i bygget, forenkle driften av bygget, øke tilpasningsevnen og fleksibiliteten til bygget (Walløe, 2017, s. 36).

Et Smartbygg er et bygg der tekniske systemer, styringssystemer og øvrige sensorer og automatikk er rigget for å ha en integrert rolle i den digitale utviklingen, og gjennom dette skape nye muligheter for samhandling mellom bygg og bruker (Lassen, 2017, referert i Walløe, 2017, s. 40).

Walløe (2017) bemerker at Buckman et al. (2014) til forskjell fra de to andre knytter smartbygg til hele bygningssystemet som sådan slik at både arkitektur og materialer er inkludert i tillegg til IKT. Gjennom dette avdekkes et vesentlig skille i forhold til hva smartbygg er; smartbygg som smartteknologi satt inn i et bygg eller smartbygg som et helhetlig konsept. Buckman et al. (2014) sin interesse for parametre som energi og effektivitet, byggets levetid, komfort og tilfredshet forsterker bilde av et helhetlig perspektiv. Hos Buckman et al. (2014) er fokus rettet både mot miljø og mot menneske/bruker. Den generelle definisjonen ivaretar dette, mens Niels Lassen utelukkende fokuserer på bruker og ikke på miljø. I markedsføring av smartbygg er et godt innelikt skreddersydd den enkelte bruker først og fremst forbundet med økt trivsel og velvære som i neste omgang kobles til økt produktivitet.

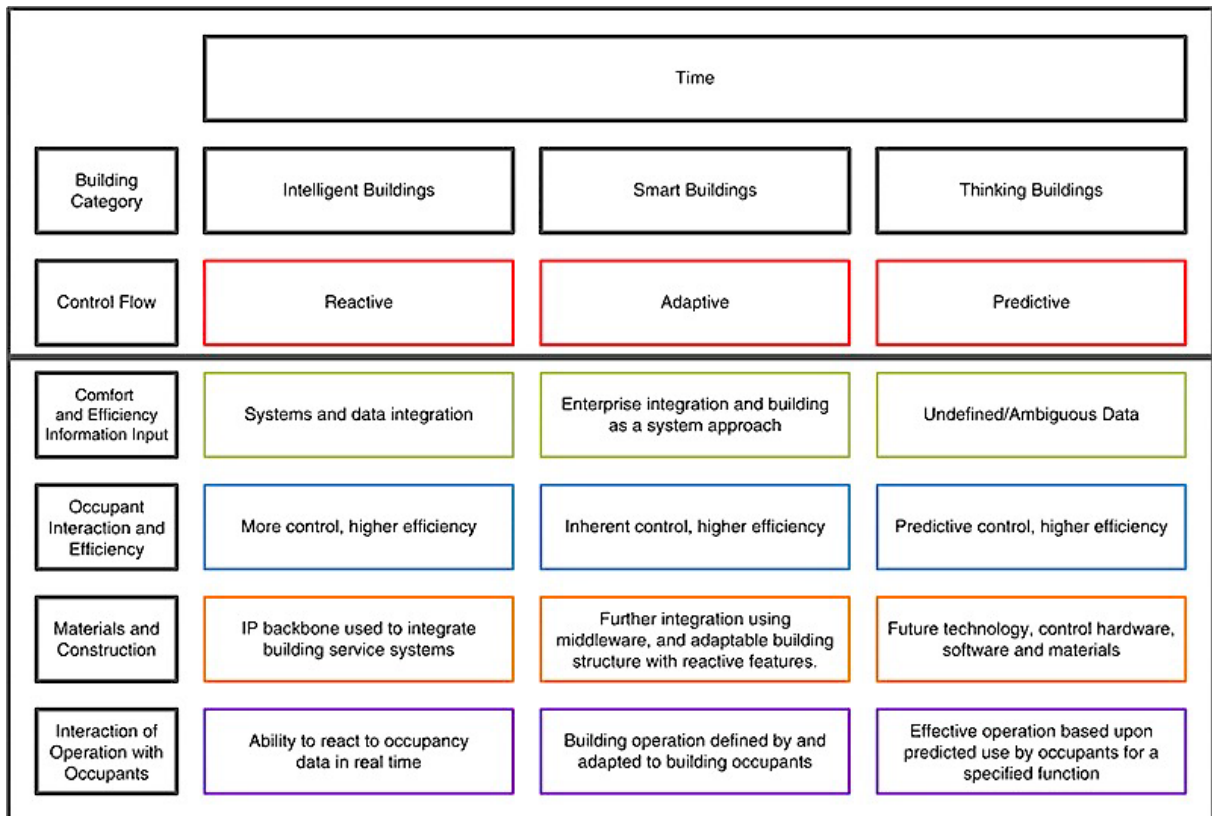
Ved å understreke at bygget skal ha en form for intelligens og at denne skal være adaptiv gir Buckman et al. (2014) også et signal om nivået på denne intelligensen. Når det heter at denne

ikke trenger å være prediktiv, men skal heller ikke være reaktiv, sier Buckman et al. (2014) samtidig noe om hvilke systemer og teknologi som smartbygget forutsetter.

Walløe (2017) registrerer at samtlige definisjoner er opptatt av tilpasningsevne og fleksibilitet, men at det bare er Buckman et al. (2014) som fremhever at smartbygget skal være uavhengig av tid. Walløe tolker dette som at Buckman et al. (2014) mener at definisjonen skal vare over tid, jfr. tidligere drøfting. Walløe legger for øvrig til at Buckman et al. (2014) ikke utelukker at smartbygg blir avløst av et annet konsept, og at smartbygg hos Buckman et al. (2014) ikke fremstår som et fenomen som nødvendigvis vil være der for all fremtid. Walløe konkluderer med at de tre definisjonene ikke klargjør det overordnede spørsmålet om hvorvidt smartbygg er et helhetlig byggkonsept eller bare teknologiske elementer i et bygg.

2.4.4 Fra smartbygg til tenkende bygg?

Er smartbygg også en betegnelse som er avleggs? Teknologi- og softwaresekskaper er tilbøyelig til å mene det. Walløe (2017) innvender imidlertid at teknologien som kreves for at kognitive bygg skal realiseres foreløpig er på idéstadiet og ikke utprøvd i praksis. Fenomen som big data, internet of things, maskinlæring, kunstig intelligens etc. kan tyde på at noe er i ferd med å skje som også vil ha konsekvenser for smartbygg. At fremtidens smartbygg vil se annerledes ut enn dagens, synes opplagt. Buckman et al. (2014) beskriver fremtidens smartbygg som tenkende bygg (se figur 8). Skal så definisjon av smartbygg ta høyde for det som er i emning når det gjelder fremtidens smartbygg? Walløe (2017) skiller tydelig mellom dagens smartbygg og konturene av det som kan bli fremtidens smartbygg.



Figur 8. Utviklingslinje fra «intelligente» til «smarte» og til fremtidens «tenkende bygg» (Buckman et al., 2014).

Begrepene Smart klart, Future ready og Future proof uttrykker med all ønskelig tydelighet at det gjelder å bygge for fremtiden. Et fremtidsrettet bygg forsøker å være forberedt på den teknologiske utviklingen som vil komme. Selv om teknologien ennå ikke er ferdig utviklet, forsøker man å forestille seg hvordan den vil influere på et byggs funksjon. Å bygge for fremtiden innebærer at systemer og arkitektur i minst mulig grad blir hindringer som begrenser fremtidig fleksibilitet, bruk og integrasjon (Walløe, 2017).

Å bygge for fremtiden handler ikke minst om å ta hensyn til miljøet. En LCA-analyse kan avdekke de miljøpåvirkninger som bygging, drift og avhending av bygg har. Jo lengre et byggs levetid er, jo mer gunstig vil det være for miljøet. Hva med eksisterende bygg og oppgradering av disse til smartbygg? Finnes det miljøgevinster å hente her? Fordi miljøhensyn er inkludert i smartbyggkonseptet vil Smart klar forsterke klimavennlige løsninger og slik sett utgjøre en forskjell. Smartbygg bør også planlegges slik at det lett kan

oppdateres til nye utgaver av smartbygg. Her bør en være oppmerksom på at utskiftning av komponenter medfører miljøpåvirkning i driftsfasen.

2.4.5 Smartbygg – et helhetlig konsept eller ei?

I en avsluttende drøfting av om smartbygg er et konsept eller ei, blir følgende alternativer trukket frem:

1. Helhetlig konsept inkludert arkitektur og design.
2. Konsept: Smartteknologi (systemer og komponenter) er planlagt som et konsept før det installeres i et bygg, uavhengig om bygget er nytt eller gammelt.
3. Ikke konsept: Smarte systemer og komponenter, men ikke planlagt i en helhet eller som konsept før installasjon. Typisk installert etter bygget er bygget (Walløe, 2017, s. 50).

Walløe (2017) drøfter også om bestemte krav eller måleparametere skal knyttes til smartbygg, eller om EU-kravet til nesten nullenergibygg (NZEB) og BREEAM/LEED og lignede sertifiseringsmetoder er tilstrekkelig. I den sammenheng lanserer Walløe følgende forslag:

- Smartbygg er et konsept med krav til komponenter og innhold.
- Arkitektur er ikke en del av smartbygg. La arkitektur være arkitektur. Noe av kjernen i arkitektur er at bygget skal ha god funksjonalitet. Arkitektur kan eksempelvis redusere kravet til energi gjennom bruk av andre metoder, men å stille krav til dette i et smartbygg, vanskeliggjør forståelsen av begrepet smartbygg. Bygg er og bør være forskjellige i sitt design. Å sette krav til energieffektivitet basert på design gjennom smartbygg vil være vanskelig, og kan hindre at smartbygg blir bygget.
- La andre stille krav til energieffektivitet. Et smartbygg-konsept kan gjøre det lettere å oppnå høyere «score» innenfor eksempelvis BREEAM, LEED og NZEB, men vil i tillegg søke å oppnå målsetninger for bygg-bruker samhandling (brukerintegrasjon i bygg) med mer (s. 50).

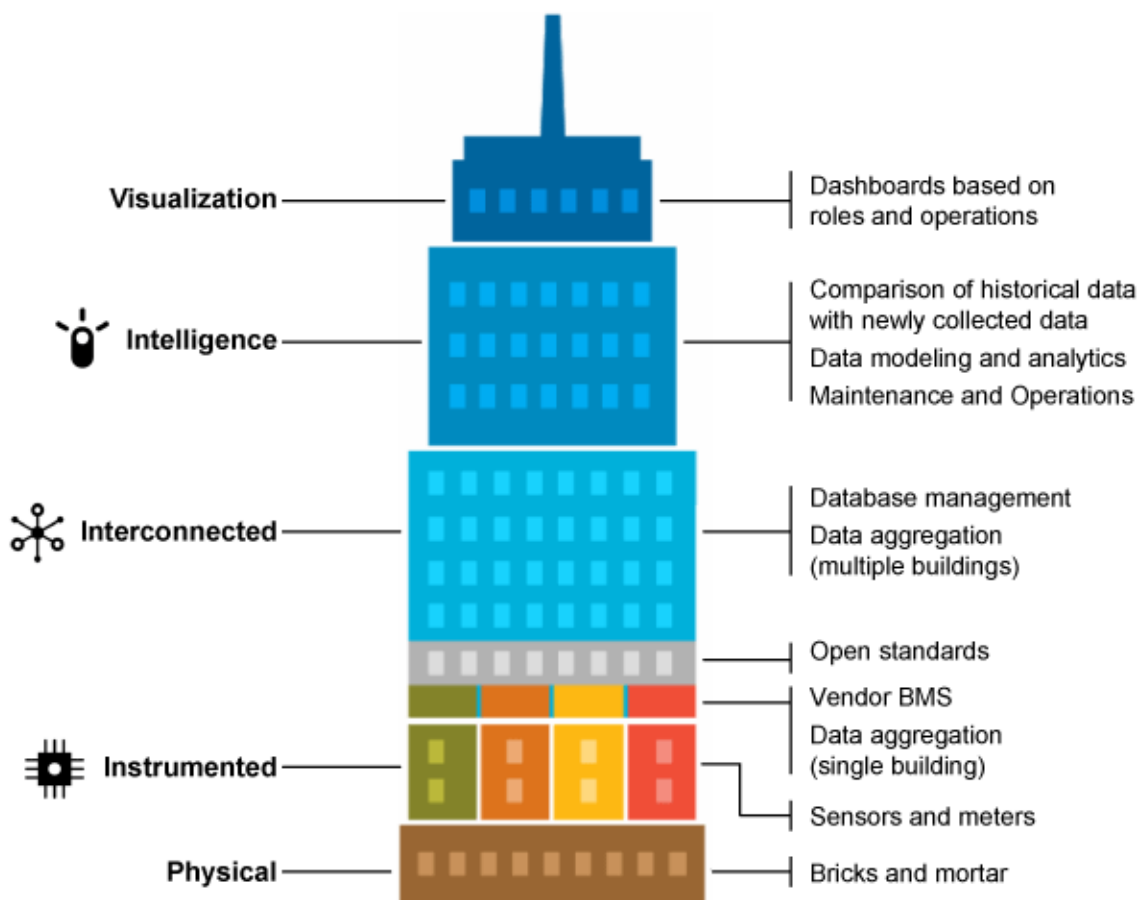
Ved å knytte smartbygg så sterkt til komponenter og bygg-bruker-samhandling kan det synes som miljøperspektivet ved smartkonseptet tones ned. Avgrensingene gjøres for at det skal bli enklere å definere hva et smartbygg er. Å utelukke arkitektur fra smartkonseptet er et ledd i å redusere fenomenets kompleksitet. Når Buchman et al. (2014) inkluderer arkitektur og design

i redegjørelse og drøfting av smartbyggkonseptet gjøres dette for å ivareta et mer «holistic view of buildings». Parametre som energieffektive bygg og levetid blir på denne måten et mer sentralt element i det som søkes oppnådd gjennom smarte bygg.

2.4.6 Komponenter og systemer i et smartbygg

I det følgende skal det undersøkes nærmere hvilke systemer og komponenter som inngår i et smartbygg i den hensikt å få et bedre innblikk i hva et smartbygg er. Men først litt om oppbygning av et smartbygg.

Komponenter som varmvannsberedere, kjøleaggregater, airconditionanlegg, ventilasjonsanlegg, strømforsyningsanlegg, brannalarmanlegg, samt grunnleggende systemer som adgangskontrollsystem, videoovervåkningssystem, lyskontrollsystem og driftssystem (BMS – Building Management System) vil også finnes i smartbygg så vel som i de fleste automatiserte bygg.

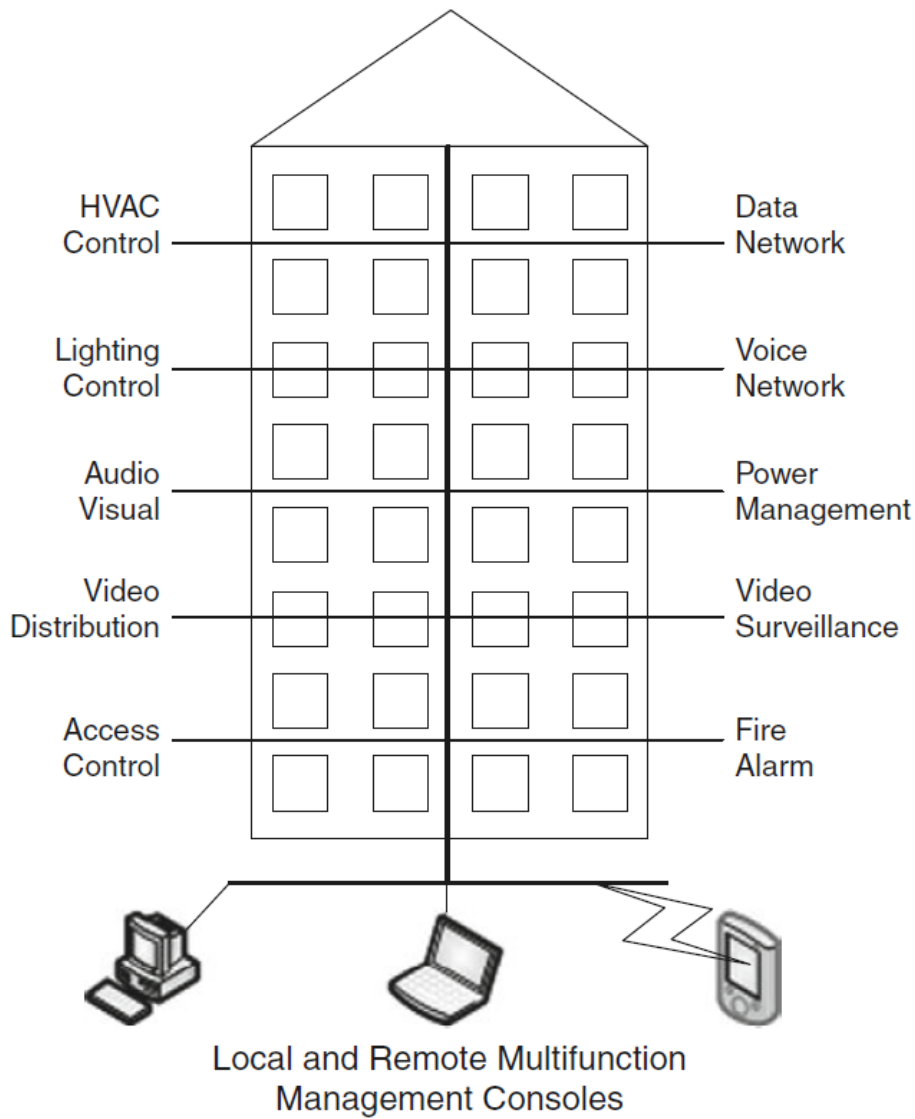


Figur 9. Oppbygning av et smartbygg ifølge IBM (Tsarchopoulos, 2011).

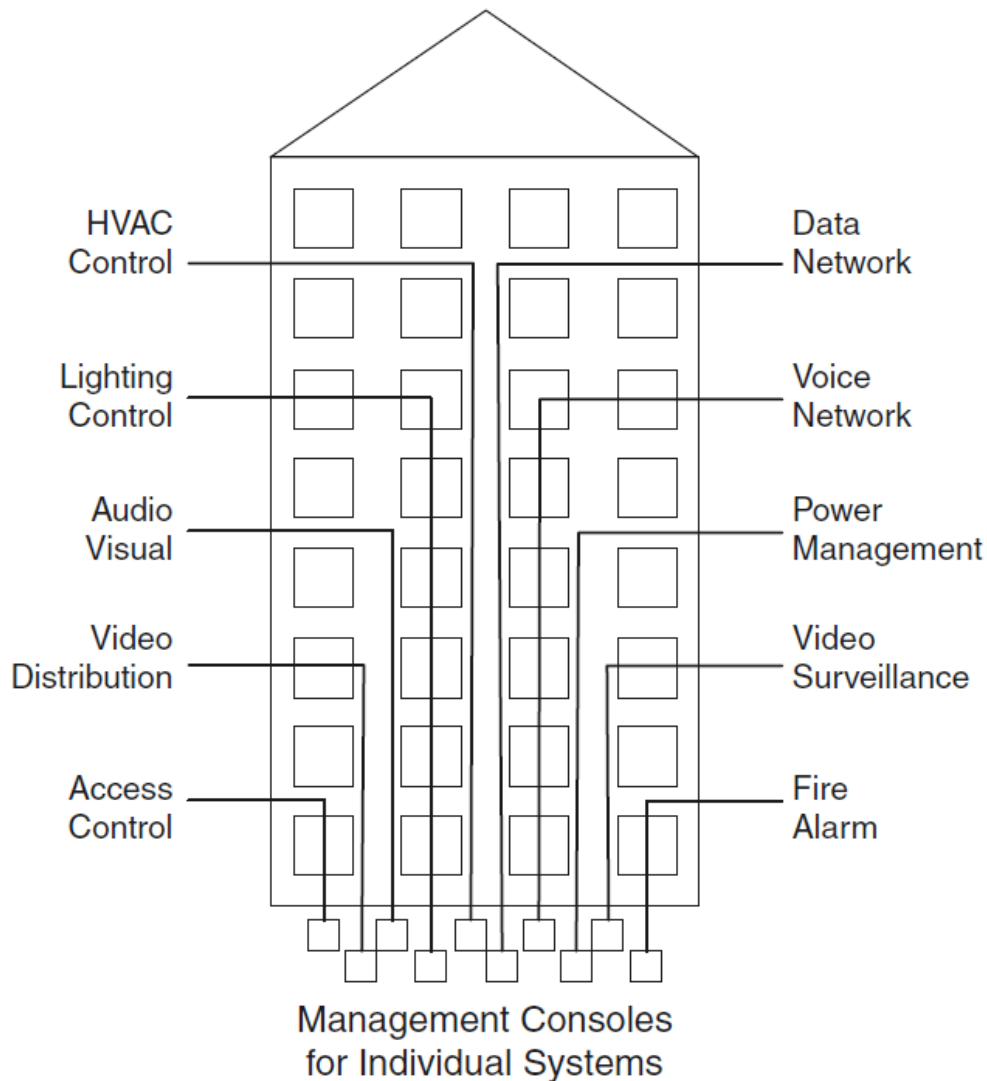
Det smarte i et bygg er knyttet til hvordan systemer og komponenter er sammenkoblet og kommuniserer med hverandre. Hva som kommuniseres og hvor mye, tiltak som iverksettes med utgangspunkt i mottatt kommunikasjon og i hvilken grad systemene selv er i stand til å analysere, konkludere og utføre handlinger som et resultat av mottatt kommunikasjon, er et uttrykk for bygget smartness. Figur 9 illustrerer ulike lag som et smartbygg ifølge IBM kan deles inn i.

Byggets kommunikasjonsevne er betinget av de komponenter og systemer som er installert mellom det instrumenterte laget og visualiseringslaget. Byggets evne til selv å analysere, konkludere og iverksette tiltak på grunnlag av akkumulert informasjon gjennom kommunikasjon, er i hovedsak betinget av det intelligente laget, men også av kombinasjonen av de tre øverste lagene, det såkalte toppsystemet.

I automatiserte bygg opererer systemene separat og kommuniserer derfor ikke med hverandre slik de gjør i integrerte systemer. Separate system blir ofte betegnet som silo systemer (se figur 10). I smartbygg er systemene integrert, dvs. at de er koblet sammen i et felles nettverk (se figur 11). Når ulike undersystem sammenkobles gjør det overvåkningen av bygget lettere. Sammenhenger mellom systemene synliggjøres, og lagring av data kan foregå på en plass, hvilket reduserer behovet for kabling, kabelgater og antall datamaskiner og skjermer. Integrerte systemer er noe av det som gjør at et smartbygg oppleves som smart.



Figur 10. Separate systemer eller silosystem (Sinopoli 2010).



Figur 11. Integrerte systemer (Sinopoli 2010).

Toppsystemet er «hjernen» i et smartbygg der data fra de integrerte systemene kommer inn og lagres, analyseres, sammenliknes og presenteres. Det øverste laget er et visualiserings og presentasjonslag som både muliggjør og forenkler styringen av systemene.

Bygningsdriftsystemet kalles BMS (Building Management System). Med utgangspunkt i data fra ulike kilder som kommer opp på displayet, kan driftsoperatør foreta ulike valg, bl.a. overstyre systemene ved feilfunksjon eller endre innstillinger når nye behov oppstår.

Et toppsystem kan forhåndsprogrammeres i tråd med standardverdier hvilket gjør at handlinger foregår automatisk innenfor de angitte parameterne. Walløe (2017) viser til et eksempel fra Schneider Electric sine kontorer på Ryen i Oslo for å illustrere denne funksjonen. Den viktigste varmekilden i dette kontorbygget er vannbåren varme i

betonetasjeskillene. Det tar seks timer fra vann med en annen temperatur strømmer inn i etasjeskillene, til det får effekt i lokalene. Når systemet er så tregt, vil det være vanskelig å regulere temperaturen ut fra behov. Løsningen er at toppsystemet kontinuerlig leser av hvilken temperatur yr.no predikerer på Ryen om seks timer, og sammenstiller dette med avmålt temperatur i lokalene. Ut fra denne informasjonen vil toppsystemet styre hvilken temperatur vannet på vei inn i betongelementene skal ha. Med dagens teknologi har toppsystemet en adaptiv funksjon. I fremtidige smartbygg vil toppsystemet også ha en predikativ funksjon. Hvis temperaturen i et rom f.eks. har 22 grader som standardinnstilling, men blir stilt opp til 24 grader tre dager på rad, vil systemet den fjerde dagen ha forstått at dette (24 grader) er den ønskede temperaturen, og stille seg automatisk inn på dette (Walløe, 2017).

2.4.6.1 Sensorer og sensorer i nettverk styrt av mobilapplikasjoner (app`er)

Sensorer er helt nødvendige komponenter i et smartbygg og det som gjør at et bygg kan være smart. Det er derfor en like viktig del av smartbygget som det integrerte systemet. Sensorer har lenge vært en bestanddel i teknologiske bygg, men utviklingen innen sensorteknologien gjør at sensorer i dag er billige, små og trådløse med lang batterikapasitet. De kan installeres nærmest overalt og i et stort antall. De kan samle inn data om nesten hva det måtte være i et bygg, og det representerer noe nytt i forhold til tidligere (Walløe, 2017). Digitalisering av maskiner og komponenter har transformert disse til sensorer. Smarttelefonen tilkoblet internett har også ført til at mennesker er blitt sensorer. Listen over sensorer i bygg kan gjøres lang, men følgende kan nevnes: Digitale brann og røykvarslere, digital luftkvalitetsmåler (CO₂/CO måler), digital luftfuktighetsmåler, personbeleggsensor (person occupancy), heiser, digitale temperatursensor, digital strømmåler/energimåler, overvåkningssensorer, ladestasjon, lamper og lysbrytere.

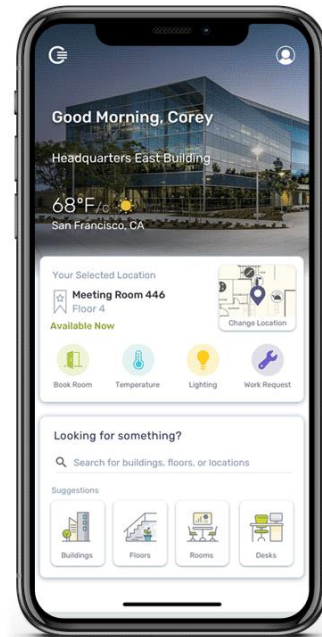
Fordi systemene i et smartbygg er digitale, kan dataene fra sensorer bli nyttiggjort på en nærmest ubegrenset måte. Ulike programmer og app`er kan utvikles for å styre ulike funksjoner i bygget. Via en app eller programvare kan f.eks. brukere og driftsoperatører gis tilgang til å overvåke eller påvirke hele eller deler av systemene i et smartbygg.

Det fysiske arbeidsmiljøet bestående av blant annet innetemperatur, lys, luftkvalitet, og støynivå er viktig for brukerne av bygget fordi det kan påvirke trivsel, tilfredshet og komfort hos den enkelte arbeidstaker. I neste omgang kan dette ha innvirkning på brukernes

effektivitet og produktivitet. Optimalisering av bygget med utgangspunkt i den enkeltes preferanser kan oppnås på ulike måter. Én er å dele inn lokalene i kald og varm sone, i støysone og stille sone osv. Ulempen er at dette lett kan kreve mye areal og derfor bli lite arealeffektivt. Hvis arealeffektivitet prioriteres kan noen oppleve et arbeidsmiljø de ikke trives i simpelthen fordi den eneste ledige kontorpulten befinner seg i en sone som ikke tilfredsstiller deres arbeidsmiljøbehov.

Sentral styring av oppvarming, kjøling, lysinnslipp, belysning etc. ved hjelp av sensorer kan bidra til å gjøre bygget økonomisk og energieffektivt. Hvis den enkelte bruker har mulighet til å overstyre dette, kan det true gevinsten. I fellesrom der brukerne har ulike temperaturpreferanser kan problemer oppstå. Appen Comfy gjør det mulig for den enkelte bruker å foreslå endringer i temperaturen, og den temperaturen som foreslås hyppigst blir rommet regulert i tråd med. Appen lar også brukerne legge inn sine standardpreferanser, slik at når arbeidstaker kommer på jobb vil appen automatisk kommunisere oppgitte preferanser som vil være med å avgjøre temperaturen i rommet. Bruk av en slik app må ses i sammenheng med om smartbygg skal være et helhetlig konsept eller ei (Walløe, 2017). Hvis appen skal fungere etter hensikten, må ventilasjonssystemet og arkitektur være lagt opp på en slik måte at forskjellige soner kan ha forskjellige temperaturer. Dette illustrerer også relevansen av å inkludere arkitektur i smartbyggkonseptet slik Buchman et al. (2014) gjør.

Apper kan brukes på mange områder i et smartbygg, f.eks. når det gjelder lysstyring, regulering av luftkvalitet, å booke et møterom etc. Smartteknologi kan bidra til å optimalisere interaksjonen mellom bygg og bruker, hvilket er selve essensen i smartbyggkonseptet. Nye måter å organisere arbeidsplasser på, som *free seating*, *hot desk*, *clean desk*, aktivitetsbaserte lokaler osv. representerer også nye utfordringer. Fordelen med faste kontorplasser var at det var lett for ledere og arbeidskollegaer å oppsøke og å finne en medarbeider. Nye



Figur 12. Illustrert styring med app.

organiseringsmåter der folk kan sitte hvor som helst det måtte være en ledig kontorpult, gjør det mer komplisert å møtes ansikt til ansikt. Å finne en arbeidsplass for dagen representerer også et nytt behov der smartteknologi bidrar med løsningen. Selskapet Mapiq har utviklet en app som hjelper brukerne til å finne frem i bygget, til å finne en arbeidsplass som passer bestemte preferanser, til å finne kollegaer, eller booke et møterom. Eksemplene viser at apper og programmer kan løse noen av de utfordringene som nye metoder for organisering av arbeidsplasser skaper (Walløe, 2017).

2.4.6.2 Presentasjonsskjermer

Digitale data og integrerte systemer sammen med ulike programvarer gjør presentasjon av informasjon knyttet til energi- og vannforbruk og energi produsert av solceller på taket lett tilgjengelig i et smartbygg. Mens slik informasjon bare ble gitt til driftsoperatører, kan den nå presenteres for alle brukere på skjermer i fellesrom, f.eks. på vei inn til kantina slik det blir gjort hos Schneider Electric i Oslo (Walløe, 2017). Intensjonen med dette er å bevisstgjøre den enkelte bruker om byggets energiforbruk og gjennom dette inspirere til ytterligere senkning av forbruket. Om den enkelte ikke har mulighet til å påvirke det totale forbruk fordi det utgjør en så forsvinnende liten del av dette, kan et slikt tiltak synes fåfengt. En måte å bøte på dette på kan være å oppgi forbruket for mindre områder eller soner. Ordningen med *free seating* og aktivitetsbaserte kontorløsninger kan imidlertid gjøre også et slikt tiltak lite personlig.

Driftssikkerhet er en kritisk faktor i smartbygg. Komponenter og systemer må fungere hvis installasjonskostnadene skal kunne forsvares. I smartbygg er det først og fremst universelle systemer som installeres og implementeres. I funksjonsbygg med spesielle behov som opera, sykehus, brannstasjon og forsvarsbygg kan det imidlertid være behov for spesielle systemer og komponenter som passer sammen med bruken av bygget, men disse bør samtidig være kompatible og kommunisere med grunnsystemet. Stilt overfor de utfordringer som digitaliseringen representerer har Direktoratet for forvaltning og IKT fått i oppdrag å legge til rette for en nasjonal IKT arkitektur i offentlig sektor.

2.5 State of art - smarte kontorbygg i Norge

Pilotprosjekt er viktig når visjonen om nullutslippsbygg skal realiseres i ulike typer bygg. Flere smarte kontorbygg foreligger, og disse er bl.a. motivert av ønsket om å redusere klimapåvirkningen fra bygget. Disse pilotprosjektene fungerer som inspirasjon for smartkontoret i denne oppgaven.

2.5.1 Powerhouse Kjørbo

Powerhouse Kjørbo i Sandvika er et eksempel på hvordan et næringsbygg fra 80-tallet kan omgjøres til et smarthus. Hvordan kan så et eldre ordinært kontorbygg i det kjølige nord forvandles til et bygg som produserer mer energi enn det trenger til eget forbruk gjennom livsløpet? Tanken om at rehabilitering av eldre hus skal gi klimagevinst er ikke ny, men at moderne teknologi kan gi et pluss hus slik Powerhouse-prosjektet har vist, illustrerer det potensiale som en fullskala oppgradering av ordinære kontorbygg i Norge kan ha i en miljøregnskapssammenheng. Nøkkelord her er fasader som isolerer bedre, vinduer med langt mindre varmeutslipp, et optimalisert ventilasjonssystem, energibrønner lokalisert på tomten som gir kaldt vann til kjøling og energi til varmepumpen om vinteren og sist, men ikke minst, solceller på taket. I Powerhouse Kjørbo i Sandvika produserer disse ikke mindre enn 200 000 kWh per år. Med et energibehov som utgjør halvparten av dette, går bygget utvilsomt i pluss selv når forbruk knyttet til ombyggingen er inkludert.

Et tiltak som er tatt i bruk for å redusere energiforbruket i bygget, er åpningsbare vinduer og takluker til avtrekk styrt av ventilasjonsanlegget. Trappesjakt fungerer som en stor avtrekkskanal der kjølig luft tilføres nede, trekkes oppover mens den gradvis oppvarmes for til sist å trekkes ut på toppen. Resultatet av disse løsningene er kraftig reduksjon i energiforbruket til avtrekksvifter, hvilket viser at dette er et svært energieffektivt alternativ når det gjelder utskifting av luft inn og ut av rom. Trappesjakt som avtrekkskanal illustrerer også hvordan arkitektur kan legge til rette for energieffektive løsninger. Videre er sensorstyrt belysning inndelt i soner, ventilasjon styrt ut fra antall mennesker som til enhver tid befinner seg i bygningen samt et vannforbruk redusert til et minimum andre tiltak som er innført. Bygget har for øvrig oppnådd full score i det anerkjente sertifiseringssystemet BREEAM.

2.5.2 Sola Airport Arena

Sola Airport Arena er betegnet som verdens smarteste kontorbygg og tar mål av seg til å bli en bransjestandard for smarthusteknologi. Titusenvis av sensorer bidrar til å gjøre bygget intelligent slik at det er i stand til å lære og utvikle seg under bruk. Bygget fungerer som et levende laboratorium der ny teknologi stadig vekk implementeres og testes. Et konvergent IP-basert nettverk henter data fra sensorene til en digital plattform der alt blir lagret i en database. Kunstig intelligens er tatt i bruk i bearbeiding av de innsamlede dataene som så bidrar til å optimalisere den interne arbeidsflyten. Informasjon hentes fra lysarmaturer, bevegelsessensorer, trådløse nett og sensornettverk. Gjennom det som betegnes som en digital tvilling eller i praksis en 3D-modell av bygget, visualiseres databasen og den digitale plattformen. Ved hjelp av 3D-briller kan en gjennomgang av bygningskonstruksjonen gjennomgås og på denne måten fremskaffe sanntidsdata om luftkvalitet, temperatur og antall personer i hvert av rommene. I den digitale tvillingen er dokumentasjon om forvaltning, drift og vedlikehold også tilgjengelig samt informasjon om brannsoner.

Programvaren og systemarkitekturen Interact Office er tatt i bruk for å øke bygningens effektivitet. Armaturene i bygget er tilknyttet et Interact Office dashbord. Dette systemet er basert på Power-over-Ethernet, dvs. at strøm tilføres via en ethernetkabel til hver armatur. Kommunikasjon med og strømforsyning til armaturene er en del av byggets IT-nettverk. Den nye teknologien forenkler installering og LED-teknologien gjør strømforbruket betydelig lavere.

I Sola Airport Arena er 3D printede armaturer tatt i bruk for å optimalisere kontorbelysningen. En slik løsning forkorter design- og produksjonstiden betraktelig, og gir mulighet til å tilby løsninger som er skreddersydd brukernes behov. Armaturene har sensorer som samler og bearbeider data slik at brukeren med en app selv kan tilpasse lyset til personlige behov. Lyset vil automatisk reguleres i forhold til dagslyset. Sensorer på lyskilder er knyttet til yr.no, hvilket gjør det mulig å regulere temperatur og lysstyrke f.eks. kan temperatur holdes konstant på 21 grader uavhengig av solskjerming hvis det er ønskelig. Human Sentric Lighting innebærer at lyset tilpasses døgnrytmen, dvs. avspeiler hvilken tid på dagen det er, som igjen kan øke medarbeidernes produktivitet og konsentrasjonsevne. Belysning brukes også til å markere soner for arbeid og avslapping.

Bygget har også teknologi som kan bidra til å optimalisere bruken av kontorene. Med trådløst nettverk og fri sitteplass kan medarbeidere arbeide hvor som helst i bygget. Ved å integrere

systemet med Outlook og bookingsystemer gis det oversikt over hvilke rom som er ledige og kan reserveres via en app. Aktivitetsbasert tilgang på rom, fokussoner og video- og konferanserom bidrar også til stor fleksibilitet og god utnyttelse av arealene. Wayfinding er også en løsning som kan tilbys grunnet sensorer i armaturene. Via en app kan medarbeidere finne frem til nærmeste ledige møterom i bygget eller til kantinen.

Bygget er sertifisert som BREEAM Excellent.

2.5.3 HasleLinje

I Karvesvingen 5 i Oslo er et nytt smartbygg som blir sett på som et av de fremste i Europa, tatt i bruk. Nærmere 6000 sensorer er installert i bygget, og disse skal blant annet måle tilstedeværelse, temperatur og bevegelse. Bygget er brukerstyrt i den forstand at de ansatte kan styre mye av sin kontorhverdag selv, dvs. at adgang, belysning og praktiske gjøremål som heisbestilling, lys, møteromsbooking og hvor de skal ha sin arbeidsplass er funksjoner som de ansatte styrer selv via en smarttelefon og en egen app.

Bygget selv optimaliserer driften ved bruk av avansert dataanalyse. En dataplattform henter informasjon fra byggsystemer og sensorer for å tilpasse og justere lys, ventilasjon og energibruk. Smartteknologien bidrar m.a.o. til at kontorbygget er energieffektivt. Bygget sertifiseres som BREEAM-NOR Excellent og skal oppnå passivhusstandard og energiklasse A.

I presentasjon av det nye bygget pekes det på betydningen av at bygningen skaper gode rammer for brukerne, og at gode opplevelser kan bidra til en positiv jobbhverdag som i neste omgang kan legge til rette for større effektivitet og økt tilfredshet. At løsninger er tilpasset brukerne anses som helt avgjørende for at et smartbygg skal bli vellykket (Byggfakta 2020). I markedsføring av HasleLinje blir ny teknologi og god planløsning først og fremst sett i sammenheng med hvordan det kan legge til rette for en forbedret arbeidshverdag som er bedre tilpasset hvordan moderne mennesker ønsker å arbeide. Det sies at dersom målet er engasjerte, effektive og kreative medarbeidere, vil et smart bygg bidra til dette. Det hevdes at HasleLinje tilbyr «bygg som gir arbeidstakere verdens kanskje aller mest moderne arbeidsforhold». Videre reklameres det med fleksible arkitektoniske løsninger som gjør det enkelt å gruppere folk i kombinasjoner som sørger for både god gruppedynamikk og godt inneklima. Smarte bygg er m.a.o. ord betinget av arkitektur. De gode møteplassene blir sett på

som noe som kjennetegner morgendagens arbeidsplass fordi verdiene skapes der folk møtes, og i smarte bygg er det bevisst lagt opp til dette. Løsningene gjør at felles funksjoner kan deles på en måte som sikrer samarbeid (HasleLinje 2017).

Personalrestauranten - i de fleste andre bygg et livløst område utenom spisetiden – kan i smartbygget invitere til gruppearbeid når som helst på dagen. På samme måte kan møterom og konferanserom deles mellom brukerne av bygget når som helst for å oppnå maksimal tilgjengelighet og bruk. Sosiale soner er møteplasser der man kan få kaffe, te og faglig påfyll fra folk på tvers av ulike avdelinger.

Det legges til grunn at det i fremtiden blir færre manuelle arbeidsprosesser.

Dokumentasjonsarbeid reduseres til fordel for innovasjonsarbeid. De ansatte kan i stadig større grad velge hvor de vil utføre arbeidsoppgavene, og dette krever bygg som er fleksible, elastiske og flerbrukervennlige. Et tradisjonelt kontor erstattes av et smart og fleksibelt kontor, og teknologien vil derfor bidra til å redefinere arbeidsplassene.

Kontorplass representerer en vesentlig utgift for en bedrift, og at plassen ikke blir benyttet fullt ut er et problem. Smarte bygg kan bidra til bedre utnyttelse av arealressursene. I smarte bygg er god luftkvalitet en prioritert oppgave, og det hevdes derfor at smarte bygg er ensbetydende med sunne bygg. Andre faktorer som temperaturkontroll, tilgang på grønn utsikt, naturlig belysning, reduksjon av uønsket støy, et interiør som legger til rette for fysisk aktivitet og en kantine med sunn mat bidrar også til bedre produktivitet hos de ansatte.

Det understrekes at det å velge et smartbygg også er et miljøvalg og en måte å ta samfunnsansvar på. Smartbygg er mer energieffektive enn vanlige bygg, noe ikke minst solceller bidrar til.

Det hevdes at smartbygg gir et konkurransefortrinn i kampen om de gode hodene fordi de oppleves som mer attraktive for arbeidstakerne. I den sammenheng vises det til at balansen mellom arbeid og fritid blir stadig viktigere i kunnskapssamfunnet. HasleLinje sin ambisjon er «å skape de beste omgivelsene for å sikre en optimal hverdag og de beste resultatene» (HasleLinje 2017).

2.6 Livsløpsvurdering (LCA)

Livsløpsvurdering eller *Life Cycle Assessment (LCA)*, er en metode som er utviklet for å kunne si noe om hvor stor den totale miljøpåvirkningen er for et produkts eller et byggs livsløp eller livssyklus, dvs. fra råvaren utvinnes, via de prosesser som finner sted for å produsere varen, miljøbelastning ved bruk av produktet og frem til avfallshåndtering. Man ser med andre ord på hele det tekniske systemet som er involvert i frembringelse, bruk og avhending av produktet (systemanalyse). Hele materialsyklusen langs produktets verdikjede inngår i analysen. I beregningene som foretas er all transport og energibruk i mellomleddene inkludert. En livssyklusanalyse vil m.a.o. gi et helhetlig bilde av de ulike former for miljøpåvirkning som et produkt står for gjennom sitt livsløp. Det blir altså tatt høyde for alle relevante miljøpåvirkninger og ikke bare på en enkelt miljøfaktor.

Standardene NS-ISO 14040:2006 «Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Prinsipper og rammeverk» (StandardNorge, 2006a) og NS-ISO 14044:2006 «Miljøstyring – Livsløpsvurderinger - Krav og retningslinjer» (StandardNorge 2006b) utgjør et overordnet rammeverk for livsløpsanalyser. I NS-ISO 14040 er fire faser i en LCA-analyse identifisert og beskrevet (se figur 13):

- Fastsetting av hensikt og omfang
- Livsløpsregnskap
- Livsløpseffekt-vurdering
- Tolkning



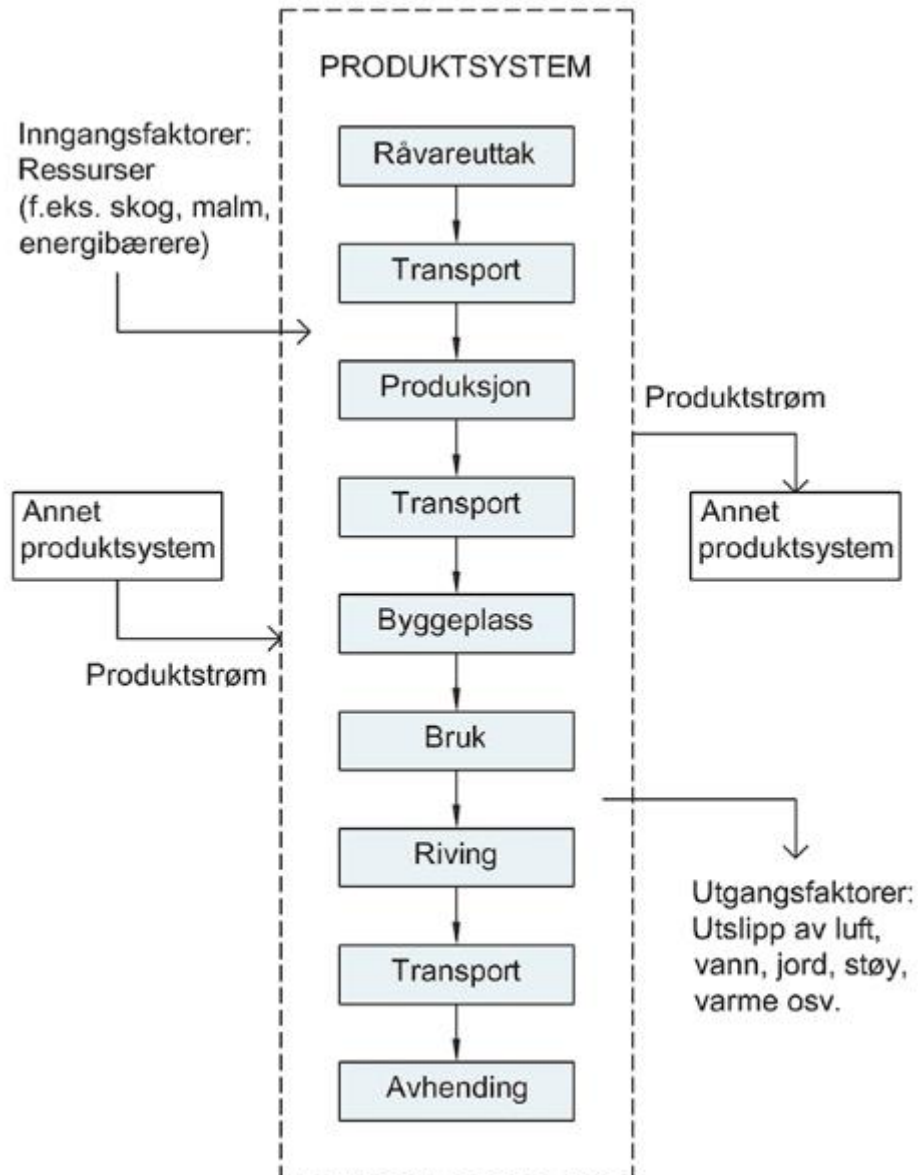
Figur 13. De fire fasene i en LCA-analyse (SINTEF Byggforskserien, 2014).

2.6.1 Fastsetting av hensikt og omfang

Når en LCA-analyse skal foretas må både analysens hensikt og omfang defineres fordi dette har innvirkning på definisjonen av funksjonell enhet og systemgrenser. I den første fasen blir derfor analysens mål bestemt for deretter å fastsette systemgrensene. Analysens mål henger sammen med valg av metodikk. LCA kan brukes til å beregne hvilken miljøpåvirkning et produkt eller system har for derigjennom å finne effektive tiltak for å redusere utslipp i ulike faser av verdikjeden. Å få en oversikt over miljøbelastninger i ulike faser fra vugge til grav, fra uttak av naturressurser, gjennom design, produksjon, logistikk, markedsføring, distribusjon, salg, bruk og til slutt avhendingsfasen, vil gi kunnskap om hvilket trinn i produksjonskjeden som utgjør den største miljøbelastningen. Kunnskap om dette kan gjøre arbeidet med å utvikle mer miljøvennlige løsninger mer målrettet i den forstand at en kan sette inn tiltak der potensialet for klimagevinst er størst.

Et viktig ledd i vurderingen av miljøkonsekvenser er ønske om å foreta konsistente sammenligninger av ulike systemløsninger og alternative teknologier med henblikk på miljøbelastninger av ulikt slag som f.eks. global oppvarming, forsurening, toksiske utslipp mfl. LCA benyttes derfor til sammenlikning av produkter med samme funksjon eller av ulike fremstillingsmåter av det samme produktet. Fordi ett og samme produkt eller system kan ha ulike funksjoner må hvilken funksjon som skal være analysens *funksjonelle enhet* defineres tydelig. Den funksjonelle enheten skal være betegnende for produktet og fungerer som en referanse som alle inngangsfaktorer (input) og utslipp henføres til. *Funksjonell enhet* er en kvantifisert enhet der beskrivelse av et produkts funksjon inngår. Utslippene må være knyttet til produktets funksjon. Det er nødvendig for at det skal være mulig å sammenligne med andre produkter med tilsvarende funksjon. For at en sammenlikning av to ulike produkter skal være rettfærdig kreves det at den samme funksjonelle enhet blir gjort gjeldende i analysen. I tilfeller der ikke hele livsløpet inngår i analysen, f.eks. der bare fra vugge til port blir gjenstand for analyse, blir enheten definert som *deklarerert enhet*.

Når formål med analysen og funksjonell enhet er bestemt må systemet kartlegges inngående. I den sammenheng er det nødvendig å markere *systemgrenser*, dvs. å avgjøre hvor grensene mellom det analyserte systemet og andre systemer går. Systemgrensene definerer med andre ord hvordan systemet som skal analyseres, er avgrenset til andre systemer og utgjør derfor kriterier for dette. I figur 14 angir stiplede linje systemgrensen.



Figur 14. Fastsetting av produktsystem (SINTEF Byggforskserien, 2014).

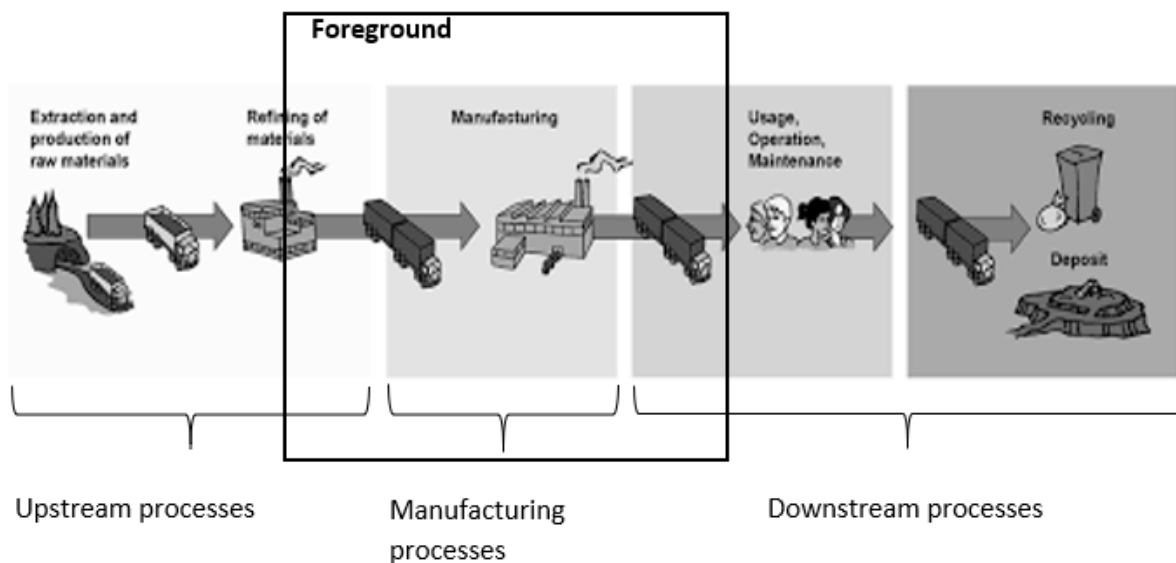
Systemmodellen består av enhetsprosesser¹⁴ knyttet til materialer, produkter eller prosesser som kreves for å produsere den funksjonelle enheten. Hver enhetsprosess er knyttet til andre enhetsprosesser lengre oppstrøms i verdikjeden og må derfor ses i sammenheng med disse. Avgrensingsfeil reduseres i tråd med antall prosesser som er inkludert i modellen. Ulempen er

¹⁴ Enhetsprosess er definert som minste del av kvantifiserte inngangs- og utgangsdata som vurderes i et livsløpsregnskap, se NS-EN ISO 14040

at mange prosesser inkludert i modellen vil gjøre datainnsamlingsfasen desto mer tidkrevende.

Analysens omfang vil også avgjøre hvilke miljøpåvirkningskategorier som er relevante og derfor inkludert i analysen og hvilke som ikke anses som relevante og derfor må ekskluderes. Tidshorisont som miljøpåvirkninger skal vurderes i forhold til og hvilke krav som skal stilles til datakvalitet må det også tas stilling til.

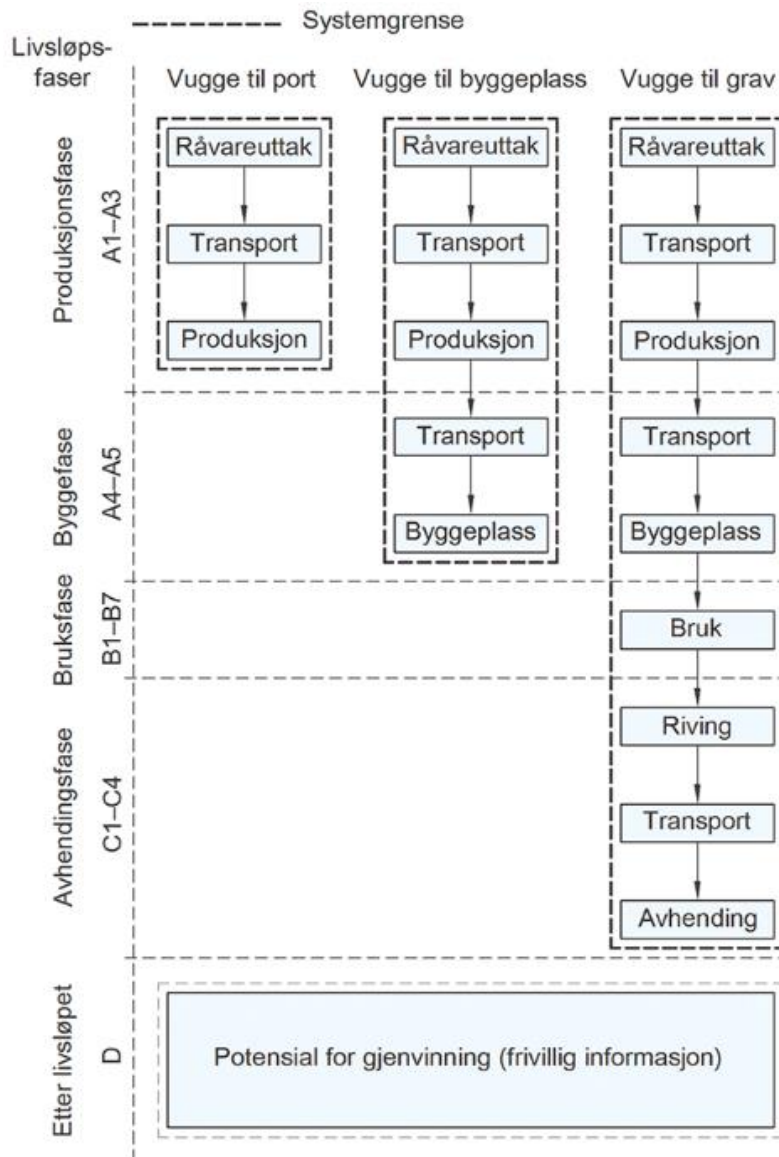
I en LCA-analyse skal det som anses som vesentlige oppstrømsprosesser være inkludert i analysen. Alle materialstrømmer og aktiviteter som er involvert i at et produkts funksjon kan opprettholdes, skal være en del av analysen. Se figur 15. I analyse av transport er det f.eks. ikke tilstrekkelig at bare kjøretøyets utslipp er beregnet. Miljøbelastninger fra produksjon og vedlikehold av kjøretøyet så vel som legging og vedlikehold av vei skal inngå i analysen. Det er vanlig å skille mellom de materialer og prosesser som konsumeres direkte av systemet og infrastrukturen til et system (Rønning et al., 2018).



Figur 15. Illustrasjon av sammenhengen mellom oppstrøms- og nedstrømsprosesser.

I en fullstendig livsløpsvurdering er alle faser i livsløpet inkludert og den tar derfor med alle komponentene som systemet består av. Det er imidlertid vanlig å avgrense analyseomfanget, dvs. at enkelte faser i livsløpet er utelatt. Figur 16 viser avgrensning av livsløpsfasene vugge til port, vugge til byggeplass og vugge til grav. Selv om alle fasene i utgangspunktet bør tas

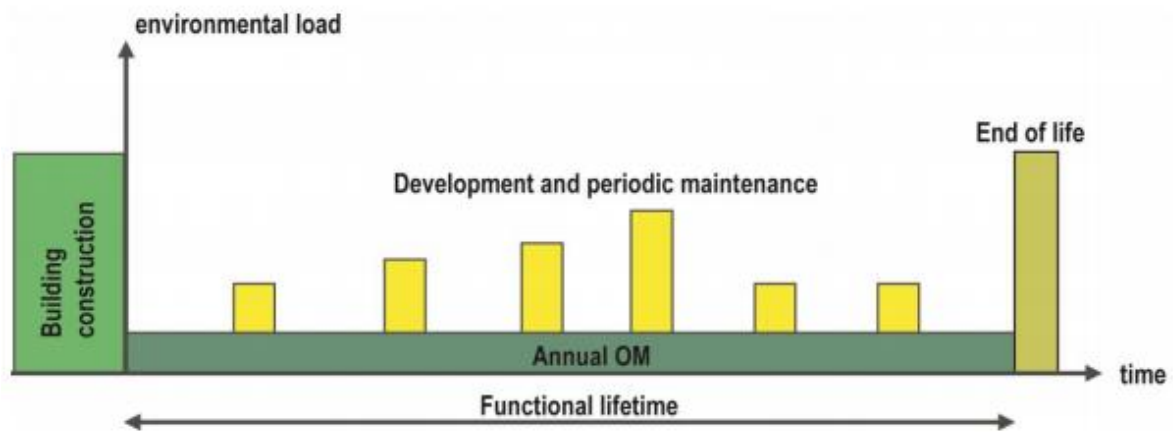
med, dvs. produksjons-, bygge-, bruks- og avhendingsfase inkludert transport, er det ikke alltid mulig å foreta en så detaljert livsløpsvurdering av alle fasene.



Figur 16. Livsløpsfaser og systemgrenser (SINTEF Byggforskserien, 2015a).

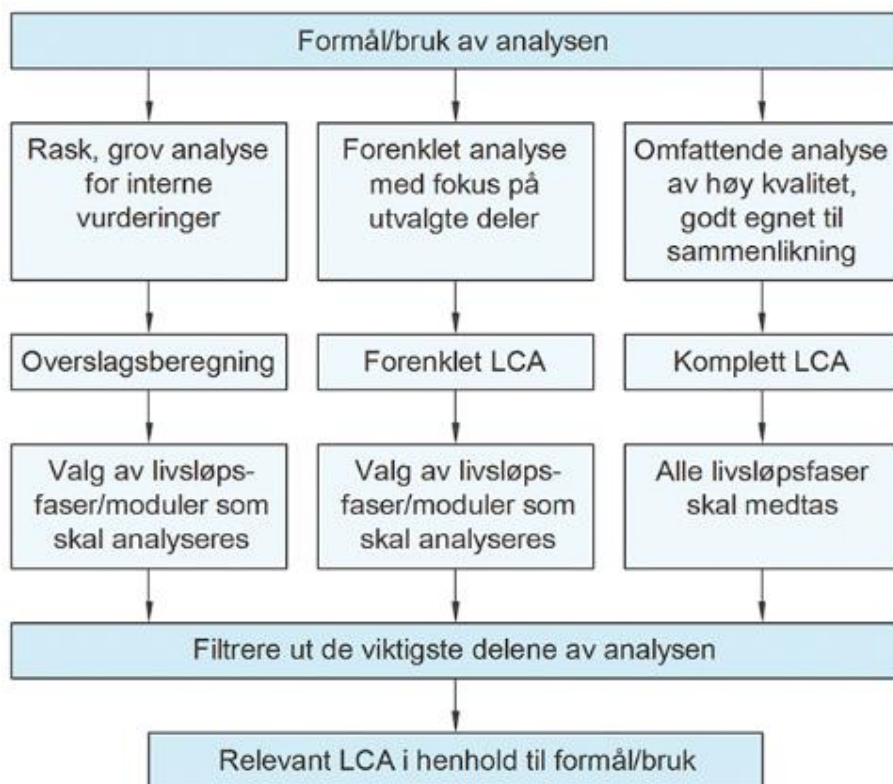
Utelatte livsløpsfaser kan imidlertid gi store utslag på resultatene av analysen. Hvis f.eks. transport til byggeplass utelates i en vugge-til-port analyse kan miljøbelastningen underestimeres når produkt som innebærer transport over store avstander velges fremfor mer kortreiste produkter. På tilsvarende måte vil utelatelse av fasene vedlikehold, utskifting og utvikling av bygget gjennom livsløpet gi et skjevt bilde av de totale miljøbelastningene. I miljøvurdering av bygg er det av stor betydning at disse fasene er inkludert i analysen. Figur

17 illustrerer hvordan miljøbelastninger gjennom et byggs livsløp kan fordeles på ulike faser; FDVU (forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling). I tillegg er også avhendingsfasen (End of life) tatt med i figuren.



Figur 17. Livsløpsfaser for et bygg over dets levetid (Rønning et al. 2007).

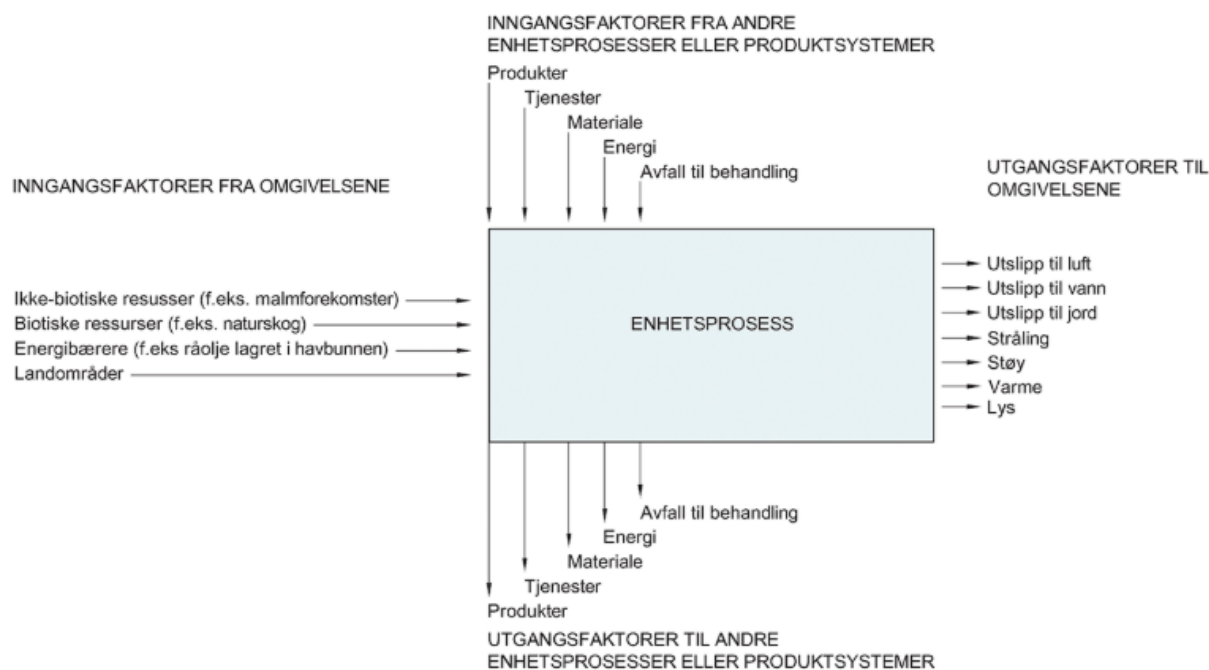
Det skilles mellom overslagsberegning (screening LCA), forenklet LCA (simplified LCA) og fullstendig LCA (complete LCA) i veilederen EeBGuide [951]. Se figur 18. Systemgrenser og omfang er forskjellig for de tre alternativene. Det anbefales å gjennomføre enkle analyser for å få bedre oversikt over hvilke prosesser som kan være mest utslagsgivende før beslutning om hvilke faser/moduler som skal inkluderes blir endelig fastlagt.



Figur 18. Tre forskjellige typer LCA etter formål og forventet bruk [951] (SINTEF Byggforskserien, 2015a).

2.6.2 Livsløpsregnskap

I livsløpsregnskaps- eller livsløpsinventarfasen kartlegges og kvantifiseres alle inngangsfaktorer fra omgivelsene (ikke-biotiske og biotiske ressurser, energibærere og landområder) og fra andre enhetsprosesser eller produktsystemer (produkter, tjenester, materiale, energi, avfall til behandling) og utgangsfaktorer til omgivelsene (utslipp til luft, vann og jord, stråling, støy, varme og lys) og til andre enhetsprosesser eller produktsystemer (produkter, tjenester, materiale, energi og avfall til behandling). Se figur 19.



Figur 19. Inngangsfaktorer og utgangsfaktorer i en enhetsprosess (SINTEF byggforskserien 2014).

Når det gjelder inngangsfaktorer kan en prosess forårsake det som betegnes som *stressorer*. Det kan være knyttet til utvinning av ressurser, beslagleggelse av naturressurser og andre aktiviteter som kan ha et skadepotensial i forhold til miljøet. I livsløpsregnskaps- eller livsløpsinventarfase er målet å utarbeide en liste over alle stressorer som er et resultat av etterspørselen av én funksjonell enhet av produktet som analyseres. Dette gjøres ved å kvantifisere inputfaktorer som er nødvendig for alle enhetsprosesser for deretter å beskrive stressorer som dette forårsaker.

Tilgjengelig inventardata fra produsenter og leverandører, fra LCI (Life Cycle Inventory) databaser, fra miljødeklarasjoner og fra statistiske data blir så innhentet. I den sammenheng er LCI-databasen Ecoinvent¹⁵ en verdifull informasjonskilde der inventardata fra en mengde produkter og prosesser som er utbredt i Europa kan innhentes. Et skille mellom spesifikke og generiske data blir gjort gjeldende der det førstnevnte handler om data som er innhentet fra en konkret produsent mens det sistnevnte går på databasetall som kan bidra med gjennomsnittlige produksjonsdata for Europa. Det legges vekt på å fremskaffe spesifikke data for forgrunnssystemet som inkluderer de aktiviteter og materialstrømmer som er direkte

¹⁵ Ecoinvent 3.6 er den siste versjonen som ble lansert 12. september 2019. Den inneholder mer enn 2300 nye og 2500 oppdaterte datasett.

forbundet med produktets livsløp, og som det er knyttet lav usikkerhet til. For bakgrunnsprosesser kan generiske data i større grad bli anvendt. Dette kan ofte være nødvendig for å redusere kompleksiteten i analysen.

I tilfeller der en enhetsprosess kan avstedkomme flere produkter, må alle inngangsfaktorer (input) og de stressorer som er et resultat av denne enhetsprosessen *allokeres* (fordeles) mellom bi-produktene. For å ta høyde for et produkts resirkulerings- eller gjenbruksverdi, må det også fremgå av analysen hvordan inngangsfaktorer (input) og avhending fordeles i de ulike fasene i verdikjeden.¹⁶

I en konvensjonell LCA legges det til grunn at alle utslipp og andre stressorer faller sammen i tid.¹⁷ Livsløpsregnskapet eller livsløpsinventaret er derfor en kartlegging av kvantifiserte utslipp og stressorer som er knyttet til produksjon av en funksjonell enhet. Den kvantifiserte listen over alle utslipp og stressorer danner utgangspunkt for konsekvensutredningen.

2.6.3 Livsløpseffektvurdering

I livsløpseffektvurderingen eller konsekvensutredningen blir inventardata bearbeidet i forhold til hvilke konsekvenser de har når det gjelder miljøpåvirkning. I denne fasen konverteres stressorer til hvilken påvirkning de har på miljøet. Livsløpseffektvurderingen eller konsekvensutredningen kan deles inn i følgende trinn:

- **Valg av miljøpåvirkningskategorier og karakteriseringsmodeller:** Det må gjøres rede for hvilke miljøpåvirkninger som skal bli gjenstand for analyse og hvilken metodikk som brukes for å kvantifisere miljøbelastningen. Dette steget er også inkludert i fastsetting av hensikt og omfang.
- **Klassifisering:** Stressorer eller utslipp til jord, luft og vann plasseres i forhold til miljøpåvirkningskategorier som f.eks. global oppvarming, forsuring og overgjødning.

¹⁶ Se for øvrig Strømman (2010) for tre hovedmetoder for allokering og Baumann & Tillmann (2004) for ulike metoder for å allokere utslipp mellom de ulike bruksfasene av et resirkulerbart produkt.

¹⁷ I en dynamisk LCA tidsjusteres klimagassutslipp. I stedet for å forutsette at alle utslipp skjer i år 0, tas det i en dynamisk LCA høyde for hvor lenge klimagassutslippene virker i atmosfæren innenfor analysens tidshorisont. Det innebærer at utslipp som skjer tidlig i et gitt tidsrom vil bli tillagt større vekt enn utslipp langt frem i tid. Gevinst for gjenvinning eller erstattet energi etter byggets levetid kan da bli tillagt mindre vekt. Tidsperspektivet for analysen kan ha stor betydning i denne sammenheng. Borg (2016) finner f.eks. at den dynamiske LCA-metoden gir 33% lavere klimagassutslipp enn den konvensjonelle metoden når det gjelder miljøpåvirkninger av ventilasjonssystemet til Abels Hus, et kontorbygg i Trondheim. Den dynamiske LCA-metoden viser ifølge Borg bedre hvor i livssyklusen den faktiske miljøpåvirkningen inntreffer, samtidig som den er konsekvent med den gitte tidshorisonten.

- **Karakterisering:** Miljøbelastningen i hver kategori kan kvantifiseres ved hjelp av karakteriseringsfaktorer som sier noe om hvor mye en stressor bidrar i forhold til en bestemt miljøpåvirkning. For global oppvarming f.eks. blir utslipp relatert til CO₂ ved å bli presentert i CO₂-ekvivalenter. Forsuring indikeres med SO₂-ekvivalenter.
- **Normalisering, vektning og gruppering:** Normalisering gjøres ved å se utslipp ut ifra hvilken styrke de har i henhold til en referanse. Det innebærer f.eks. at CO₂ har styrke 1, metan styrke 25 og lystgass styrke 298 alt etter hvor stor klimapåvirkning hvert utslipp har sammenliknet med CO₂

ReCiPe-metoden er utbredt med henblikk på konsekvensutredning av miljøpåvirkninger. Her skiller det mellom potensiell miljøpåvirkning og forventet observerbar skade. Metoden omfatter 18 midtpunktsindikatorer som angir potensial for miljøpåvirkning midt i årsak-virkningskjeden. F.eks. kan klimapåvirkning målt i CO₂-ekvivalenter bare si noe om økt konsentrasjon av klimagasser i atmosfæren, og ikke noe om det endelige utfallet i form av temperaturstigning og skade på økosystemer. Endepunktsindikatorer derimot angir forventet skade på mennesker eller økosystem. Å konvertere fra midtpunkts- til endepunktsindikatorer involverer imidlertid så mange forutsetninger og kompliserte beregninger at det kan knyttes usikkerhet til disse indikatorene. Endepunktsindikatorer er derfor ikke inkludert i standarder for livsløpsvurdering.

Programvaren One Click LCA er et beregningsverktøy som brukes i LCA-analyser. Dette verktøyet er anvendelig i forhold til en rekke ulike LCI-databaser og konsekvensutredningsmetoder. Ved å mate programmet med ulike data på inngangsfaktorer og utslipp kan forskjellige enhetsprosesser modelleres. LCI-databaser (generative data) kan anvendes for å komplettere systemmodellen i tilfeller der spesifikke data mangler. One Click LCA inneholder ulike metoder for konsekvensutredning, bl.a. ReCiPe. I de ulike metodene tas formler i bruk for å konvertere inventardata til miljøbelastninger.

Miljødeklarasjoner (EPDer) sier også noe om et produkt eller et materiales miljøpåvirkning i et livsløpsperspektiv. Disse må utarbeides i tråd med standarden NS-EN ISO 14025 (StandardNorge, 2010b).

2.6.4 Tolkning

Tolkning av det som fremkommer i LCA-analysene utgjør den siste fasen, og dreier seg om hvordan resultater kommuniseres. Presentasjon av funn fra livsløpsregnskapet eller

livsløpsinventaret og livsløpseffektvurdering eller konsekvensutredningen bør ses i sammenheng med eller være konsistent i forhold til hensikt og omfang som er definert i den første fasen. Det er naturlig at konklusjoner trekkes på bakgrunn av analysen, og at det gis godt begrunnede anbefalinger ut fra disse. Begrensningen ved studien bør presiseres.

2.7 Regnskaps- og konsekvens-LCA

Det skilles mellom to hovedtyper LCA; regnskaps-LCA (attributional) og konsekvens-LCA (consequential). I regnskaps-LCA blir alle utslipp og miljøbelastninger som et produkt forårsaker fordelt mellom de produkter og prosesser som er involvert i fremstilling av produktet. I mangel av spesifikke data brukes generiske data eller data på gjennomsnittsprodukter. Regnskaps-LCA betegnes også som dokumenterende fordi den er rettet mot gjennomsnittsdata for produksjon og elektrisitetsmiks siste år. Regnskaps-LCA er velegnet for sammenligning av to produkter med samme funksjonelle enhet. Hvis målet er å identifisere hvilke deler av verdikjeden der utslippet er størst over livsløpet, vil denne LCA-formen være hensiktsmessig. Det må presiseres at denne formen for LCA ikke tar høyde for hvilke følger det kan ha å velge et produkt fremfor et annet fordi det som skjer utenfor systemgrensene ikke inngår i analysen.

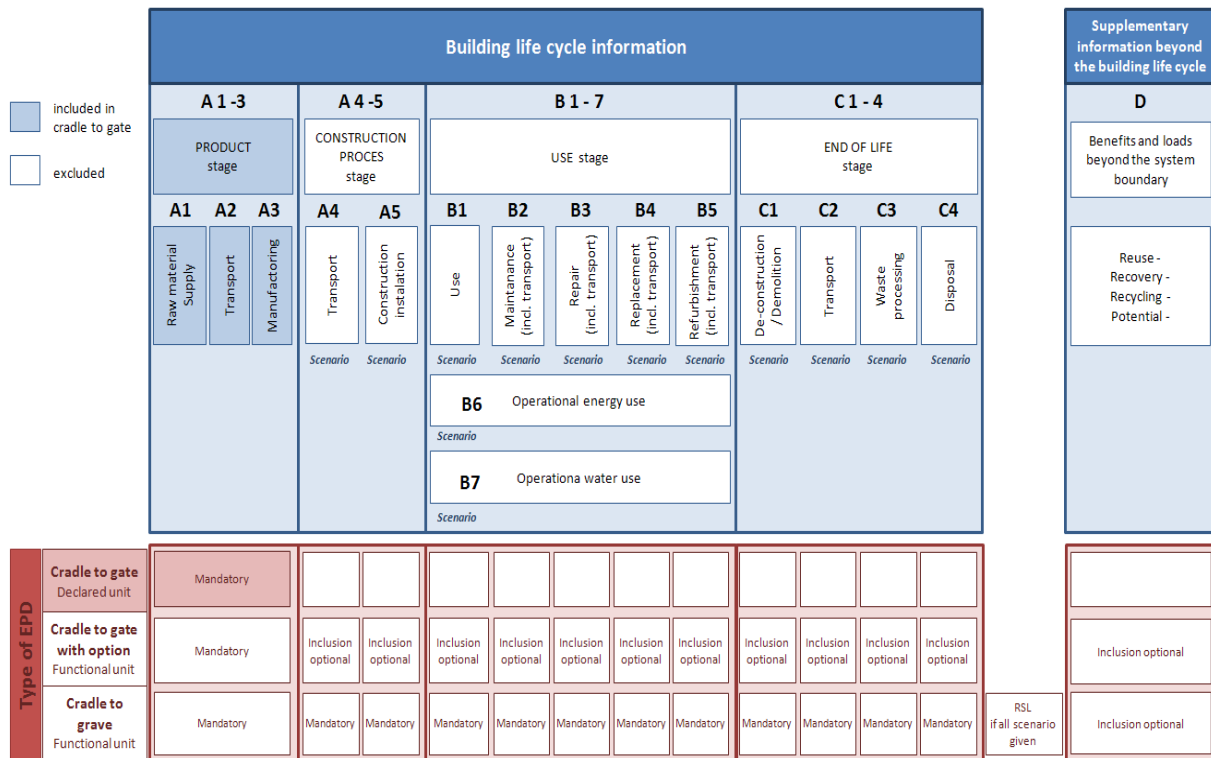
I en konsekvens-LCA er det analyserte produkts innvirkning på omverdenen forsøkt inkludert med utgangspunkt i at et system må ses i relasjon til andre systemer og ikke isolert fra disse. I en slik LCA utvides systemgrensene samtidig som det brukes en marginalbetraktning på energibærer for elektrisitet. F.eks. må man i en konsekvens-LCA av 1 kWh elektrisitet ta høyde for hvordan bruken av denne påvirker elektrisitetsmarkedet. Logikken er at bruk av 1 kWh har som konsekvens at en ny kWh må produseres. Hvilken teknologi som tas i bruk for å produsere den nye kWh blir da av interesse i motsetning til en regnskaps-LCA der det er teknologi i tilknytning til den brukte kWh som registreres. Fokus er med andre ord ikke rettet mot hva som har skjedd, men derimot om hva som mest sannsynlig vil skje som et resultat av produktet eller aktiviteten som analyseres. Som grunnlag for beslutninger vil denne LCA-formen være kunstig. Ulempen er at den er tid- og arbeidskrevende å gjennomføre på grunn av økte krav til data og kompleksitet.

Forskjellen mellom de to analyseperspektivene kan ytterligere illustreres slik: Hvis en legger til grunn at den globale markedssituasjonen i uoverskuelig fremtid vil være preget av underskudd på resirkulert stål, vil i et konsekvensielt perspektiv forbruk av stål bidra til økt utvinning av jomfruelig stål uavhengig av om det er resirkulert eller ei. Resultatet av dette er

at bruk av resirkulert stål kommer dårligere ut i en konsekvensiell-LCA enn i en regnskaps-LCA. I dag vurderes det slik at naturgass – og ikke trematerialer – vil være den mest brukte gassen i forbrenningsprosesser om 50 år. I et konsekvensielt perspektiv vil man forutsette at et treprodukt ved endt levetid vil kunne erstatte forbrenning av naturgass, med den følge at tre kommer bedre ut i en konsekvensiell-LCA enn i en regnskaps-LCA. I tillegg har tre også evnen til å lagre karbon gjennom livsløpet (Rinholm, 2018 og Sollie et al., 2016).

2.8 LCA i bygg

Standardene NS-EN 15643-1 og NS-EN 15643-2 utgjør et rammeverk for miljøvurderinger av bygninger (StandardNorge, 2019a; StandardNorge, 2011a). Et byggs levetid er inndelt i fire faser som vist i figur 20:



Figur 20. Systemgrenser og modulinndeling for livsløpet til byggevarer og bygg (enPR 15804:2010).

I NS-EN 15978 (StandardNorge, 2011b) er det definert systemgrenser for hver prosess i bygget livssyklus. A1 omhandler utvinning og bearbeiding av råvarer. A2 inkluderer transport av materialer og produkter frem til fabrikkport. A3 omhandler produksjon av produkt i

fabrikk. A4 i byggefasen handler om transport til byggeplass, mens A5 omfatter bygging/installasjon.

Gjennom et byggs levetid – som er svært lang i forhold til andre produkter – påvirkes dets miljøprestasjon av både konstruksjons- og driftsmessige forhold. Driftsfasen for et bygg består av følgende deler: operasjonell drift, vedlikehold og utvikling (B1-B7).

Operasjonell drift av bygget dreier seg om energibruk, ettersyn og renhold. Når det gjelder førstnevnte står oppvarming, kjøling, ventilasjon, belysning og bruk av teknisk utstyr sentralt. Hvordan bygget brukes vil også ha innvirkning på energibruk. I en LCA-analyse vil energibrukens konsekvenser for f.eks. klimagasser være avhengig av hvilken klimavekting som foretas på elektrisitet og andre energibærere (Rønning, Lyng og Vold, 2011).

Gjennom de siste tiårene har energikrav gjennom plan og bygningsloven blitt skjerpet for å realisere visjonen om lavenergibygg. Ambisjonen er å utvikle bygg med et lavere energiforbruk til oppvarming enn det som er nedfelt i teknisk forskrift (TEK17). Strengere krav til isolasjon i vegg og tak, mer energieffektive glass brukt i ruter/vinduer, men også smartteknologi har bidratt til at bygg er blitt mer energieffektive.

Vedlikehold dreier seg om utskiftning av bygningsdeler eller overflatebehandling som skyldes slitasje og degradering av materialer pga. begrenset teknisk levetid. Vedlikehold gjøres også av estetiske årsaker eller som et resultat av bruksendring.

Et byggs utviklingsbehov vil variere avhengig av type bygg. Mens bruken av en operabygning kan være statisk gjennom byggets livsløp vil endringsbehovet for andre bygg være store over tid. I et kontorbygg kan behovet for ombygging og flytting av vegger og teknisk installasjoner være stort fordi cellekontor blir omgjort til landskap og behov for møterom endres. Hvor fleksibelt bygget i utgangspunktet er når det gjelder slike endringer kan variere.

Bygget bruksperiode (Service Life Periode - SLP) beskriver perioden hvor bruken fremstår som statisk. I tilfeller der SLP er sett på som ensbetydende med byggets levetid – f.eks. en operabygning – er behov for tilpasningsdyktighet ikke til stede. Hvis SLP derimot betraktes i et kortere tidsperspektiv kan behov for tilpasningsdyktighet være viktig.

Avhendingsfasen omfatter riving C1, transport C2 og avfallsbehandling som forbrenning eller deponering C4. C3 inkluderer alle miljøbelastninger fra forberedelse til fase D.

Miljøbelastninger og gevinster i forbindelse med resirkulering av materialer eller energigjenvinning fra forbrenning av avfall er inkludert i fase D.

EPDer for bygningsmaterialer følger samme inndeling av livsløpet (se figur 16). Det må imidlertid tilføyes at ikke alle faser er like relevant for et materiale som for en bygning, f.eks. faser knyttet til driftsenergi og vannforbruk.

Viktighet og omfang av de ulike fasene henger sammen med type bygg og byggets formål. Et internasjonalt arbeid ble igangsatt for å etablere konsensus om hva som er bærekraftige bygg. I den sammenheng er hvordan en slik standard kan berøre systemgrensene med tilhørende modulinnstilling for prosesser og aktiviteter som inngår i livsløpet til bygg og byggevarer av betydning.

Arbeidet med den nye standarden (NS 3720) har medført at begrepet «Functional Equivalent» innført når miljøbelastning fra hele byggverk og ikke bare byggematerialer skal beregnes. Begrepet er definert i EN 15978. Her presiseres det at begrepet må ta høyde for parametre som type bygning, relevante tekniske og funksjonelle krav, bruksmønster og brukstid (service life).

Et eksempel på funksjonell ekvivalent for en kontorbygning kan være følgende:

Type bygning: kontorbygning på 4000 m² gulvareal

Bruk: oppvarmet eller nedkjølt gulvareal til et spesifikt temperaturmål

Relevante tekniske og funksjonelle krav: oppvarmede og nedkjølte rom med en temperatur som spenner fra 20°C til 26°C; luftsirkulasjonsrate på 30 m³/pr time pr person; lysstyrke 300lux; se også spesifikasjoner i nasjonal standard.

Bruksmønster: 200 arbeidstakere med arbeidstid fra 07:00 til 18:00 fem dager i uken, 48 uker per år.

Brukstid: 50 år

Det er viktig å være oppmerksom på at en bygning kan ha flere funksjoner, og at det derfor er viktig å definere så korrekt som mulig hva som er inkludert i den funksjonelle ekvivalenten. ISO og ZEN standarder for bærekraftige bygninger anbefaler at referanseflyt (som vanligvis er betegnes som referanseenheter) blir atskilt fra funksjonell enhet (som vanligvis er betegnet som funksjonell ekvivalent). I EN 15978 er referanseenheter (resultatene i form av m² eller antall mennesker) atskilt fra funksjonell ekvivalent som inkluderer ulike aspekt i tilknytning

til bygningen. På bygningsnivå definerer EN 15978 funksjonell ekvivalent, mens EN 15804 definerer funksjonell enhet på produktnivå.

Livssyklusanalyse (LCA) av et bygg tas i bruk for å identifisere produkters miljøegenskaper, sikre miljøvennlige løsninger, utvikle sunnere og mer ressursvennlige bygg og for å oppnå redusert karbonutslipp. LCA av et bygg vil derfor f.eks. bestå av komparativ analyse av to konstruksjonstyper eller sammenligning av ulike energikilder. Materialvalg, utarbeidelse av miljøvaredeklarasjoner (EPD) eller beregning av karbonfotavtrykk fordrer en komplett miljøanalyse.

LCA-beregninger er aktuelt i forbindelse med for eksempel BREEAM-sertifisering der et poengsystem blir gjort gjeldende for bruk av LCA ved materialvalg, klimagassregnskap, utarbeidelse av EPD eller andre prosjekter med gode miljøambisjoner. LCA kan brukes som en del av en LCC (livssykluskostnader) eller en frittstående vurdering basert på byggets preferanser. LCA-analyser skal hjelpe utbygger til å ta riktige valg for å redusere prosjektets miljøpåvirkning.

NS 3720 "Metode for klimagassberegninger for bygninger" er nå vedtatt og gir klare retningslinjer for beregning og sammenstilling av bygningenes klimabelastning.

2.9 Bundet energi og bundne klimagassutslipp

Bundet energi og bundne utslipp brukes om indirekte forbruk av energi og indirekte utslipp, dvs. energibruk og utslipp som skyldes en aktivitet, men som ikke finner sted på samme tid eller sted som aktiviteten. Produksjon av byggematerialer krever energi og råstoffer.

Energiforbruk som akkumuleres i verdikjeden for materialer som inngår i en bygning, betegnes som bygningens bundne energi. Driftsenergien derimot henger sammen med energiforbruk til oppvarming, ventilasjon, belysning etc. Med bundne klimagassutslipp siktes det til klimagassutslipp knyttet til materialene i bygget. Bundet energi og bundet klimagassutslipp vil følgelig omfatte all energibruk og alle klimagassutslipp som ikke skyldes driften av bygget. Bundne klimagassutslipp betegnes ofte som klimafotavtrykk for å få frem de spor med henblikk på klimapåvirkning som materialene legger igjen gjennom verdikjeden. Et produkts klimafotavtrykk er påvirket av energibruk i verdikjeden, men også av andre prosesser som forårsaker klimagassutslipp. Etter hvert som moderne bygg blir mer energieffektive, vil forholdet mellom driftsenergi og bundne energi over livsløpet endres.

Bunden energi kan utgjøre en større andel som en konsekvens av mer materialbruk, f.eks. til isolasjon så vel som til tekniske installasjoner (Borg, 2017). Dokka et al. (2013) finner i en analyse av et nullutslippskonsept av en kontorbygning at bundne utslipp utgjør 66% av de totale CO₂ utslippene over byggets livsløp.

2.10 Miljøpåvirkning fra klimagasser – globalt oppvarmingspotensial

Klimapåvirkning (climate change impact) er den miljøpåvirkningsfaktoren som er mest hyppig brukt i en LCA-analyse. Klimagassutslipp måles i CO₂-ekvivalenter.

Karakteriseringsfaktoren for klimapåvirkning er globalt oppvarmingspotensial (Global Warming Potential - GWP). GWP-faktor er et uttrykk for klimagassers påvirkning på klimaendringer. Når klimapåvirkning for et produkt skal beregnes blir alle mengder av klimagasser i livsløpsinventaret ganget med de involverte klimagassers GWP-faktor.

3. Metode

I dette kapitlet blir det gjort rede for valg som er gjort underveis i forskningsprosessen, med særlig fokus på metodikken som er blitt anvendt. Konkret dreier dette seg om valg som er foretatt i forbindelse med innhentning av materialdata og beregninger i LCA-analysen (attributional).

Ideen bak oppgaven var i utgangspunktet en sammenlignende LCA-analyse av to forskjellige reelle kontorbygg, et smartbygg og et ordinært. Dette kunne lett ført til mange feilkilder på grunn av forskjellen mellom byggene. Størrelse, lokasjon, energimerking og byggeår kan gi store forskjeller på resultatene i en LCA-analyse. På grunn av dette er to fiktive egendesignede kontorbygg lagt til grunn for komparasjon der den eneste forskjellen mellom dem er at smartteknologi er implementert i det ene bygget. Byggene er tenkt plassert i Oslo-området.

Kontorbygget er designet i ArchiCAD, et kjent tegneprogram som er mye brukt i Norge både på arkitektkontorer og i utdanning. I ArchiCAD kan man modellere fritt og hente ut dokumentasjon, tegninger og materialmengder. ArchiCAD støtter tverrfaglig prosjektering via DWG- og IFC-filformater, som betyr at One Click LCA og ArchiCAD kommuniserer sammen. ArchiCAD kan eksportere en Excel-fil med materialmengder og One Click LCA kan importere denne filen.

One Click LCA er en livsløpsvurderings- og livsløpskostnadsprogramvare som brukes blant annet av konsulenter, entreprenører, arkitekter, materialprodusenter og investorer til å designe grønnere bygninger, oppnå klimasertifiseringer og lage miljømessige produkterklæringer for bygningsmaterialer. Programvaren lar brukerne beregne hele, eller oppdelte, livsløpsvurderinger på en rask og enkel måte. One Click LCA sin EPD-database er en av LCA-programvarenes største.

Målet med denne analysen er å estimere hvilken klimapåvirkning et smart kontorbygg og et kontorbygg uten smartteknologi har. Beregningene er basert på prinsippene for miljøvurdering gjennom en LCA-analyse.

Den funksjonelle enheten er 1 m² oppvarmet BRA over en estimert levetid for bygningen på 60 år. Oppvarmet BRA er 3900 m². Resultatene vil presentere byggenes totale utslipp oppgitt med enheten kg CO₂ ekvivalenter.

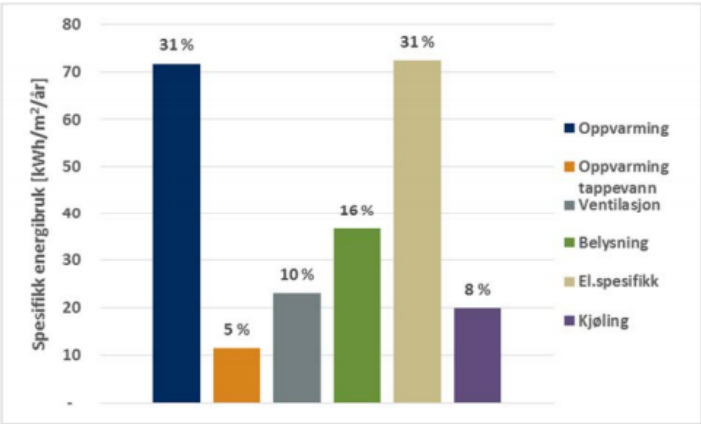
Det er gjennomført en komplett LCA-analyse, det vil si fra fase A1-C4. Det er også gjort beregninger i fase D for relevante materialer, men dette er ikke tatt med i det totale klimaavtrykk. Materialenes levetid er hentet fra EPD-ene. I EPD-er der levetid ikke er oppgitt, benyttes en verdi fra et nærliggende materiale og bygningsdel slik at bygningskomponenter som helhet har like lang levetid.

I denne oppgaven ble det først forsøkt å importere materialmengder til One Click LCA, men da programvaren bare klarte å lese 60% av den importerte filen, ble utregninger utført manuelt i Excel istedenfor. Dette kan gi en større nøyaktighet på grunn av at materialene velges helt fritt fra One Click LCA sin materialdatabase. Et eksempel på en manuell utregning vises i tabell 1. Regnearket i Excel er laget slik at det ved endringer i antall, eller størrelse på, vinduer vil også samlet vindusareal endre seg. Tabellen viser hvor mange vinduer det er per etasje, dimensjonen på vinduene og et samlet areal som legges inn i One Click LCA. For komplett oversikt over mengdeutregninger, se vedlegg A.

Tabell 1. Utregning av antall vinduer og samlet areal for vinduene.

	Vindu					
	Kjeller	1. Etasje	2. Etasje	3. Etasje	Kantine	
Dimensjon [bxh]	900x800	900x1600	900x1600	900x1600	1000x2200	
Areal [m2]	0,72	1,44	1,44	1,44	2,1	
Antall	40	78	80	80	10	
Dimensjon [hxb]		2000x1600	2000x1600	2000x1600	1400x2600	
Areal [m2]		3,2	3,2	3,2	3,64	
Antall		4	4	4	16	
Dimensjon [hxb]			2200x1500	2200x1500		
Areal [m2]			3,3	3,3		
Antall			1	1		
Tot. Areal [m2]	28,8	125,12	131,3	131,3	79,24	Sum 495,76 m2

Generelle inputs i One Click LCA:

<p>Bygningsmaterialer</p>	<p>Materialvalg til bygningskomponentene og valg av smartbyggteknologi er beskrevet i kapittel 3.1 og 3.2. Uteområde inkludert utvendig trapp er ikke med i analysen. Disse materialene ville vært lik på begge byggene og hadde ikke hatt noen utslag på sammenligningen av resultatene i LCA-analysene.</p> <p>Levetid er hentet fra EDP-en til materialet. Bæresystemet har like lang levetid som bygningen, altså 60 år. Vindu, dører, elektrisk anlegg, ikke-bærende vegger og lignende har en levetid på 30, mens smartbyggkomponentene har ifølge sine respektive EPD-er en levetid på 10 år.</p>														
<p>Energiforbruk</p>	<p>TEK17 sier at et kontorbygg skal ha et totalt netto energibehov på 115 kWh/m² oppvarmet BRA. $115 * 3900 = 448500$ kWh. Energifordelingen er vist figur 21.</p>  <table border="1" data-bbox="611 904 1315 1326"> <thead> <tr> <th>Kategori</th> <th>Prosent</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Oppvarming</td> <td>31%</td> </tr> <tr> <td>Oppvarming tappevann</td> <td>5%</td> </tr> <tr> <td>Ventilasjon</td> <td>10%</td> </tr> <tr> <td>Belysning</td> <td>16%</td> </tr> <tr> <td>El.spesifikk</td> <td>31%</td> </tr> <tr> <td>Kjøling</td> <td>8%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Figur 21. Prosentvis fordeling av spesifikk energibruk (Norsk vassdrags- og energidirektorat, 2015).</p> <p>En smartoppgradering vil ifølge leverandøren gi 24% energireduksjon, og det totale netto energibehovet til smartkontoret er $448500 * 0,76 = 340860$ kWh.</p>	Kategori	Prosent	Oppvarming	31%	Oppvarming tappevann	5%	Ventilasjon	10%	Belysning	16%	El.spesifikk	31%	Kjøling	8%
Kategori	Prosent														
Oppvarming	31%														
Oppvarming tappevann	5%														
Ventilasjon	10%														
Belysning	16%														
El.spesifikk	31%														
Kjøling	8%														
<p>Årlig vannforbruk</p>	<p>Bruker verdi fra One Click LCA sitt demoprojekt av et kontorbygg. Årsforbruk av vann på 500 m³</p>														

Byggeplassdrift	One Click LCA har lagt inn en verdi for gjennomsnittlig klimapåvirkning av en byggeplass. Ved å legge inn byggets areal vil det automatisk bli regnet ut byggeplassens klimapåvirkning. Dette innebærer generert avfall, og forbruk av diesel og elektrisitet på byggeplassen. I tillegg er det lagt inn en verdi for vannforbruk på en byggeplass. Vannforbruket er oppgitt i m ³ , og en faktor for vannforbruk per m ² er hentet fra Heravi & Abdolvand (2019).
Bygningsareal	Kontorbyggets brutto interne gulvareal er 3900 m ² . Bygget antas å være i bruk 12 timer om dagen i et årsverk, som er 230 arbeidsdager per år.
Beregningsperiode	Bygningens levetid er satt til 60 år og beregningene i denne analysen viser resultater ut ifra det.

3.1 Kontorbygg uten smartteknologi

3.1.1 Bygningsmodell

Bygningen er et kontorbygg med fem etasjer, inkludert kjeller. Kjelleren består av lager, tekniske rom, treningsrom og arbeidsrom/møterom. Taket er også satt av til tekniske rom, samt smarthusinstallasjoner. Det er ingen garasjekjeller, så hele bygningens areal er derfor oppvarmet. Bygget inneholder en typisk blanding av cellekontor, åpent kontorlandskap og tilhørende rom som møterom, auditorium, kantine og felles oppholdsareal. Bygget har en avlang, rektangulær utforming på ca. 12,5 x 70 meter. Flere av etasjene har ulikt areal på grunn av arkitektonisk design, men kontordelen i første, andre og tredje etasje er likt utformet. Totalt har bygget 3900 m² BRA. Vindusareal er på 472 m² og dette gir en ratio på 20% av byggets yttervegger.

3.1.2 Generalitet og fleksibilitet

Bygningen er designet på en fleksibel måte i forhold til planløsning for i så stor grad som mulig å unngå begrensninger ved ombruk, med unntak av heis og trappeoppgang. Det innebærer at ingen av de innvendige veggene er bærende for å kunne tilfredsstille hver enkelt

bedrifts behov. Det kreves en liten investering og arbeid for å endre på utformingen hvis det er ønskelig.

Målet er en planløsning som minsker forstyrrende bevegelser i kontorområdet. Adskilte kontorer og åpne kontorlandskap legges til rette slik at det gir de ansatte rolig arbeidsmiljø. Toalett, garderobe, tekjøkken og oppholdsrom er plassert i midten av kontorområdet for at det skal være kort avstand fra alle kontorer. Planløsningen er designet slik at kontorarealet lett kan tilpasses ulike behov med henblikk på fordeling mellom cellekontorer og åpent kontorlandskap. Heis og trappeoppgang gir kontoret en effektiv kommunikasjon mellom etasjene.

Tabell 2. Oversikt over antall kontorplasser.

Etasje	Ant. cellekontor	Ant. kontorlandskap	Antall arbeidsplasser
1. etasje	15	31	46
2. etasje	15	31	46
3. etasje	15	31	46
Totalt	45	93	138

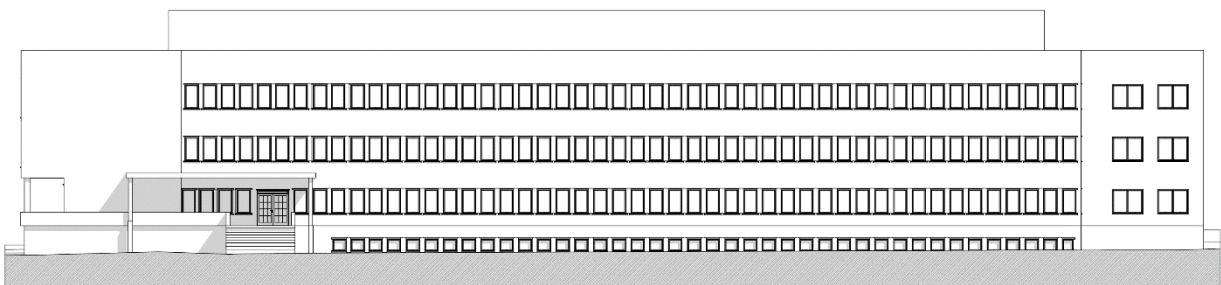
Kontorbygget er designet for å tilfredsstille kravene i TEK17.

3.1.3 Materialbruk og design

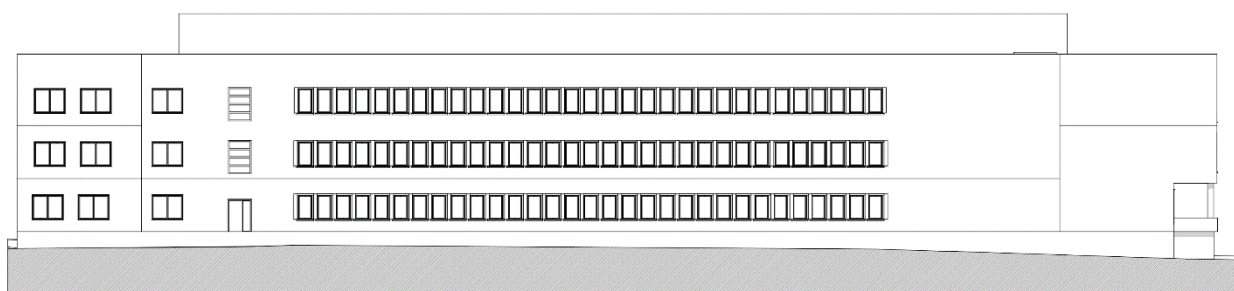
For mer detaljerte beskrivelser av materialbruk i tak, golv på grunn, yttervegger, etasjeskiller og innervegger, se avsnitt 3.1.4. Fasaden på kontordelen er dekket med stående kledning og tilleggsbyggene med plater med fiberpuss og maling. Etasjene har en takhøyde på 3,5 meter fra gulv til gulv og en innvendig takhøyde fra gulv til himling på 2,7 meter.



Figur 22. Perspektiv av kontorbygningen.



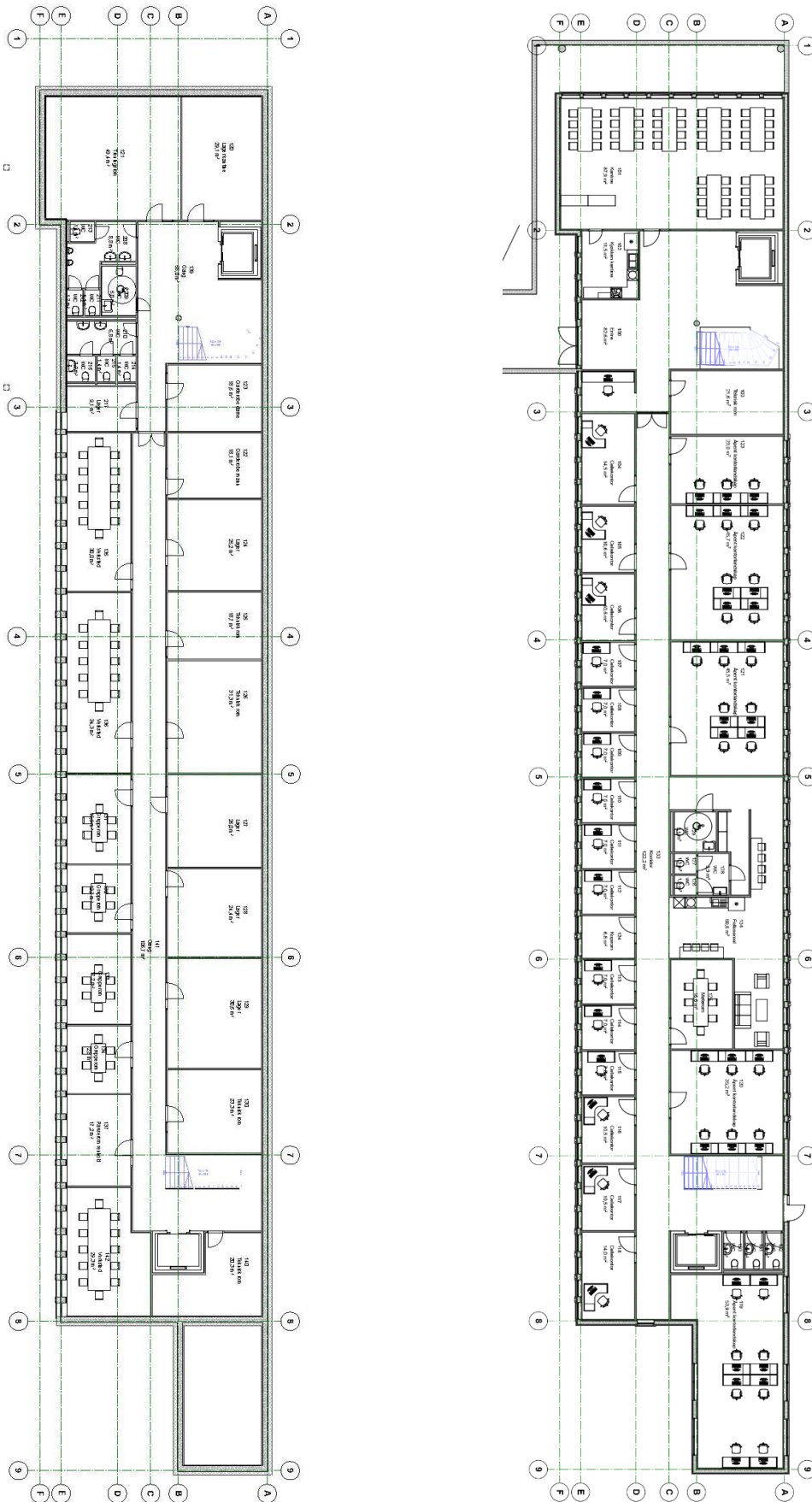
Figur 23. Byggets sørfasade.



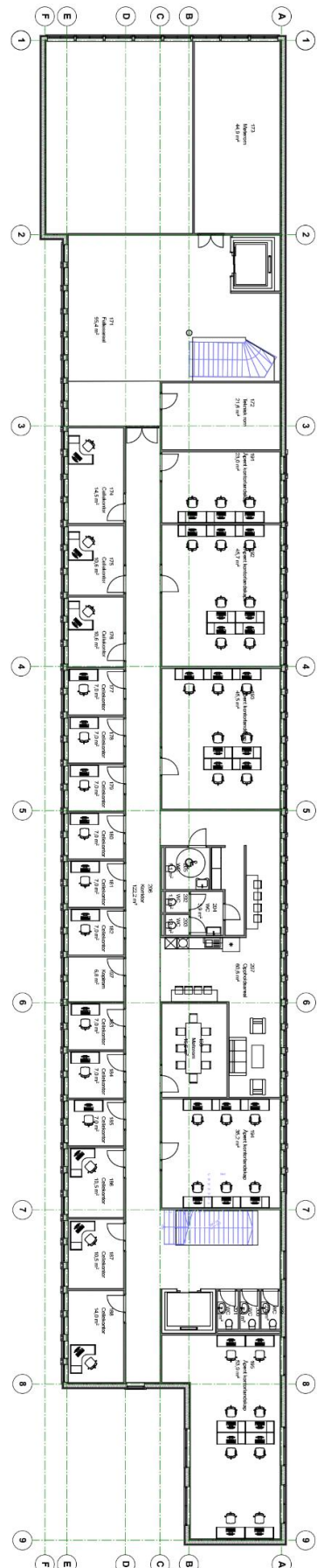
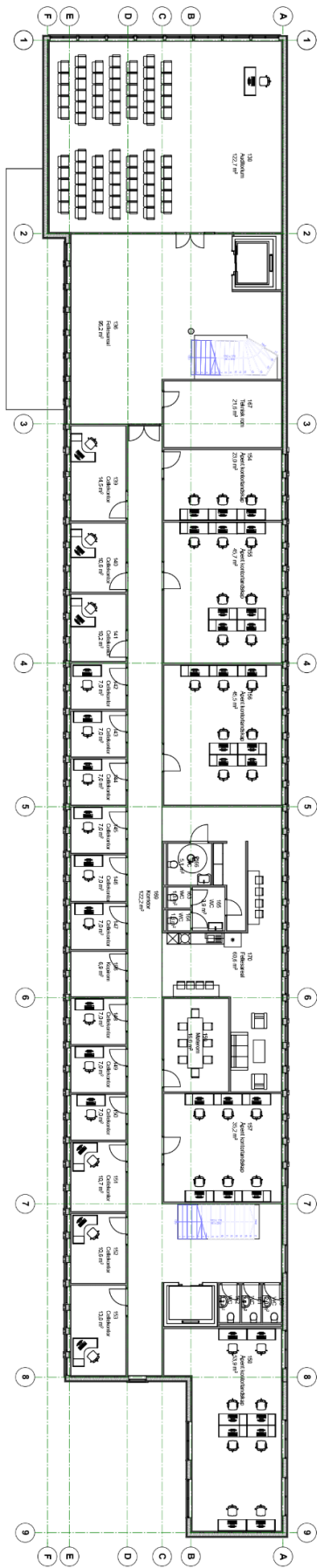
Figur 24. Byggets nordfasade.



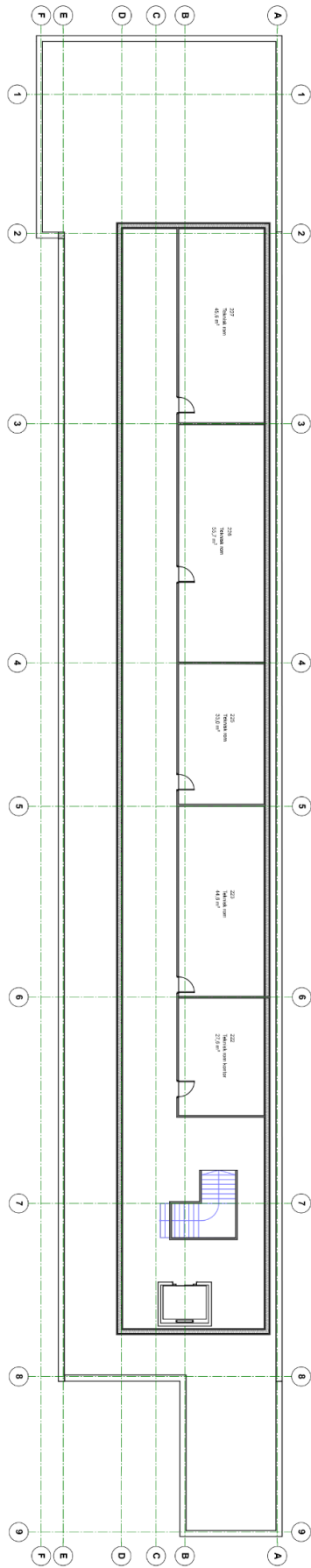
Figur 25. Byggets østfasade (til venstre) og vestfasade (til højre).



Figur 26. Plantegning kjeller (til venstre) og plantegning 1. etasje (til høyre).



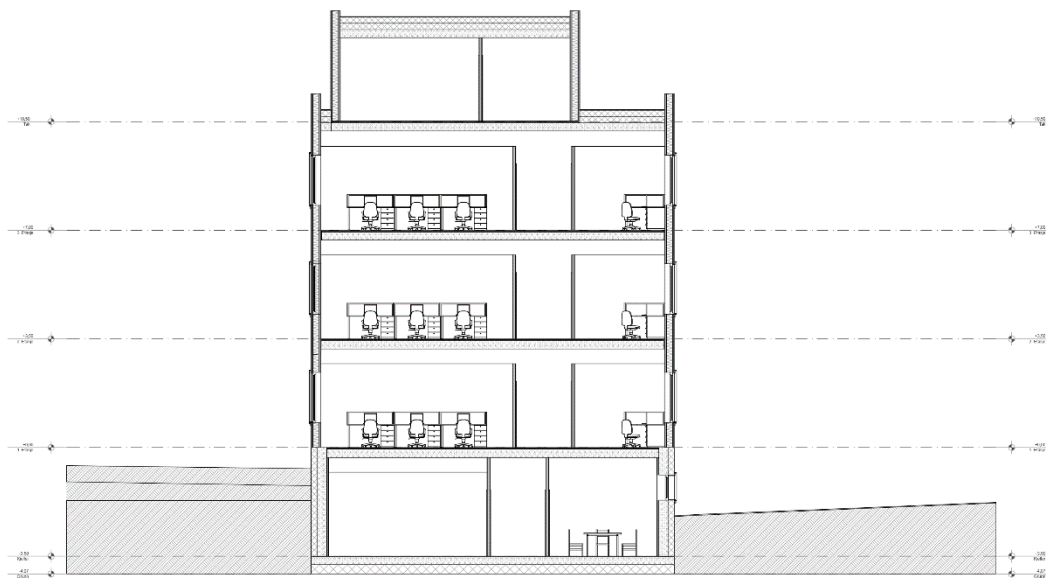
Figur 27. Plantegning 2. etasje (til venstre) og plantegning 3. etasje (til høyre).



Figur 28. Plantegning 4. etasje.



Figur 29. Snitt av langside fra sør.



Figur 30. Snitt av kortside fra øst.

3.1.4 Bygningskomponenter

Tabell 3 viser hvilke krav TEK17 stiller til bygg og det er disse kravene kontorbyggets komponenter skal tilfredsstillere.

Tabell 3. Krav til energieffektivitet TEK 17.

	Energiltak	Småhus	Boligblokk
1.	U-verdi yttervegg [W/(m ² K)]	≤ 0,18	≤ 0,18
2.	U-verdi tak [W/(m ² K)]	≤ 0,13	≤ 0,13
3.	U-verdi gulv [W/(m ² K)]	≤ 0,10	≤ 0,10
4.	U-verdi vinduer og dører [W/(m ² K)]	≤ 0,80	≤ 0,80
5.	Andel vindus- og dørareal av oppvarmet BRA	≤ 25 %	≤ 25 %
6.	Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg (%)	≥ 80 %	≥ 80 %
7.	Spesifikk vifteeffekt i ventilasjonsanlegg (SFP) [kW/(m ³ /s)]	≤ 1,5	≤ 1,5
8.	Luftlekkasjetall per time ved 50 Pa trykkforskjell	≤ 0,6	≤ 0,6
9.	Normalisert kuldebroverdi, der m ² angis som oppvarmet BRA [W/(m ² K)]	≤ 0,05	≤ 0,07

3.1.4.1 Yttervegg

For å oppnå en U-verdi på 0,18 W/(m²K) med mineralull og bindingsverk i tre, brukes det en isolasjonstykkelse på 275 mm av typen Extrem32, se tabell 4. Veggen er bygd opp av bindingsverk på 223x48 mm med en 48x48mm innvendig påforing. Fordelen med dette er at det kan monteres en inntrukken dampspærre mellom stenderverket og påforingen. Dette bedrer effekten til dampspærren da den ikke kommer i konflikt med innvendige elføringer.

Dampspærren skal hindre at fukten inne i bygget trenger ut i isolasjonen da vann senker isoleringseffekten til isolasjonen. Utvendig monteres en trefiberplate som vindsperre og utlekting + fasade. Veggens oppbygging er illustrert i figur 31.

Tabell 4. Isolasjonstykkelse og U-verdi til vegg med romhøyde 3,5m (GLAVA isolasjon [u.å.]a).

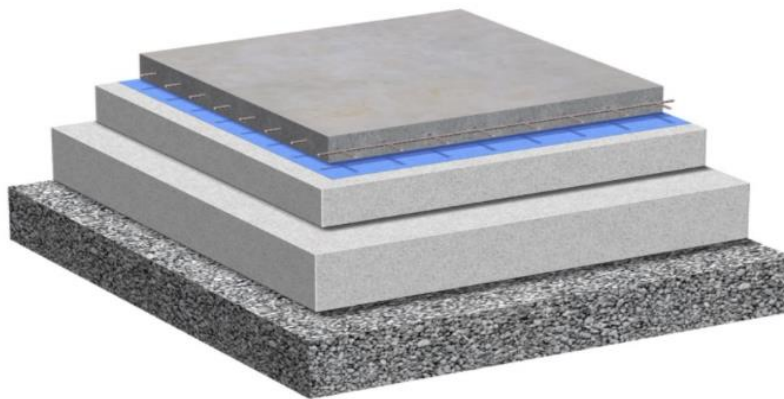
U-VERDI - STORT NÆRINGSBYGG, ROMHØYDE 3,5 M									
Isolasjons- tykkelse [mm]	Stender- høyde [mm]	U-verdi [W/m²K]							
		36 mm stender				48 mm stender			
		EXTREM 32	PROFF 34	37	ØKONOMI 38	EXTREM 32	PROFF 34	37	ØKONOMI 38
150	98 + 48	0,274	0,291	0,303	0,307	0,290	0,310	0,321	0,324
200	148 + 48	0,216	0,225	0,235	0,238	0,228	0,242	0,251	0,254
250	198 + 48	0,176	0,184	0,192	0,195	0,190	0,199	0,207	0,209
275	223 + 48	0,161	0,169	0,176	0,179	0,175	0,183	0,190	0,192
300	246 + 48	0,150	0,157	0,164	0,166	0,163	0,170	0,177	0,179
350	296 + 48	0,130	0,136	0,142	0,144	0,142	0,148	0,153	0,155
400	346 + 48	0,115	0,120	0,125	0,127	0,126	0,131	0,136	0,137
Brann- motstand	REI 30 ¹ / REI 60 ²								
Veggfelt med 20 og 26 % treandel (hvh 36 og 48 mm stender).									
1) Gjelder ikke for 36 x 98 mm stender									
2) Ved bruk av 15 mm branngips, min. 36 x 148 mm stendere og 9,5 mm gips (GU).									



Figur 31. Illustrasjon, snitt yttervegg (GLAVA isolasjon [u.å.]a).

3.1.4.2 Gulv mot grunn

På flat og fast grunn benyttes minst et 200 mm dypt lag med pukk/finpukk under isolasjonslaget til gulvkonstruksjonen. Siden kjelleren er oppvarmet må isolasjonen i gulvet mot grunnen tilfredsstillende TEK17-kravet på $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$. EPS-gulvisolasjon legges under betongen siden dette er en type isolasjon som er godt egnet til bruk under gulvet og mot grunnen. Gulvkonstruksjonen beskyttes med en plastfolie som hindrer fukt og radon fra å trenge opp igjennom gulvet. Oppå isolasjonen støpes et betonggulv med svinnarmering og gulvvarme. Se figur 32 for illustrasjon av gulvet. Isolasjonstykkelsen bestemmes med hjelp av tabell 5. Bygget har en karakteristisk dimensjon på 11 m som forenkles og settes lik 12 m. U-verdi = $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ og $B = 12 \text{ m}$ gir en isolasjonstykkelse på 330 mm.



Figur 32. Illustrasjon, snitt av gulv mot grunn. (GLAVA isolasjon [u.å.]b).

Tabell 5. Minste nødvendige isolasjonstykkelse i gulvet (SINTEF byggforskserien, 2018a).

Oppfyllingshøyde, z	Minste nødvendige isolasjonstykkelse i gulvet (mm)								
	Krav til U-verdi for gulv ($\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$)								
	0,10			0,14			0,18		
	Kar. dimensjon av gulv, B			Kar. dimensjon av gulv, B			Kar. dimensjon av gulv, B		
m	12 m	25 m	50 m	12 m	25 m	50 m	12 m	25 m	50 m
0	340	230	60	210	90	0	140	40	0
0,5	340	220	60	200	90	0	130	30	0
1	340	220	50	200	90	0	120	30	0
1,5	330	220	40	200	80	0	120	20	0

3.1.4.3 Vindu og dører

Vindu og dører følger TEK17-kravet på $0,8[W/(m^2K)]$.

3.1.4.4 Etasjeskille

Siden alle etasjene er oppvarmet, finnes det ingen krav om varmeisolasjon i etasjeskillene, men etasjeskillene har likevel en viktig isoleringsfunksjon mot lyd og trinnlyd. Kontorbygget skal være mest mulig fleksibelt når det gjelder utforming og derfor er høyden på lettveggene innvendig bare 2,7 m, fra gulv til himling. Dette gjør at det er et hulrom over innerveggene, mellom himling og hulldekket, der lyden kan bevege seg fritt. Dette kan reduseres med å installere et veggskjørt mellom himling og dekke.

Kravene for lydisolasjon i TEK17 er:

IV Lyd og vibrasjoner

§ 13-6. Lyd og vibrasjoner

(1) Lydforhold skal være tilfredsstillende for personer som oppholder seg i byggverk og på uteoppholdsareal avsatt for rekreasjon og lek. Krav til lydforhold gjelder ut fra forutsatt bruk, og kan oppfylles ved å tilfredsstillende lydklasse C i Norsk Standard NS 8175:2012 Lydforhold i bygninger Lydklasser for ulike bygningstyper.

Tabell 6. Luftlydisolasjon. Grenseverdier fra NS 8175 for kontorer (SINTEF byggforskserien 2013).

Type brukerområde	Klasse B R'_w (dB)	Klasse C R'_w (dB)	Klasse D R'_w (dB)
Mellom kontorer	40	37	34
Mellom kontorer og fellesareal/kommunikasjonsvei, som fellesgang, korridor uten dørforbindelse	40	37	34
Mellom et vanlig kontor som foran, og kommunikasjonsvei som fellesgang/korridor med dørforbindelse ¹⁾	28	24	24
Mellom møterom og et annet rom/korridor uten dørforbindelse	48	44	40
Mellom møterom og kommunikasjonsvei, som fellesgang/korridor med dørforbindelse ²⁾	38	34	28
Mellom samtalerom, legekantor, kontor med behov for konfidensielle samtaler og et annet rom, samt møterom med videokonferanse uten dørforbindelse	52	48	44
Mellom rom som foran, med behov for konfidensielle samtaler og korridor, med dørforbindelse ³⁾	38	34	30

¹⁾ For kontorer i klasse B og C bør det være dør med henholdsvis $R_w \geq 30$ dB og 25 dB.

²⁾ Mellom møterom og korridor i klasse B og C bør det være dør med henholdsvis $R_w \geq 38$ dB og 33 dB.

³⁾ Mellom rom for konfidensielle samtaler og korridor i klasse B bør det være to dører med $R_w \geq 33$ dB for begge dørene. Mellom rom for konfidensielle samtaler og korridor i klasse C bør det være to dører med $R_w \geq 28$ dB for begge, eventuelt en enkelt dør med $R_w \geq 33$ dB.

Tabell 6 viser at veggene må ha R'_w (dB) = 37 som høyeste krav, med unntak av lydisolering til en vegg mellom møterom og oppholdsareal, som krever 44 dB lydisolasjon. Tabell 7 viser at en innervegg av typen **E75 101 M70** vil være tilfredsstillende. Forklaring til veggtype: **E75** står for felles stender med 75 mm hulrom, **101** står for en 12,5 mm gipsplate på hver side av veggens og **M70** betyr at det er 70 mm mineralull inne i veggens. Dette gir en total veggtykkelse 100 mm.

Tabell 7. Lydisoleringsegenskaper for skillevegger (SINTEF byggforskserien 2013).

Veggtype ¹⁾	R _w laboratorieverdi dB	C ₅₀₋₅₀₀₀ dB	R' _w forventet feltverdi ²⁾ dB	Reduksjon for trestendere ³⁾ dB
E75 101 M45	41-44	-	35-38	-
E75 101 M70	43-47	-	37-41	-
E75 201 M45	45-48	-3	39-42	ca. -4
E75 202 M45	47-50	-	41-44	-
E75 202 M70	48-53	-	42-47	-
E100 101 M45	44-46	-	38-40	-
E100 101 M70	46-48	-	40-42	-
E100 201 M45	48-50	-4	42-44	ca. -4
E100 202 M45	50-52	-	44-46	-
E100 202 M70	53-55	-	47-49	-

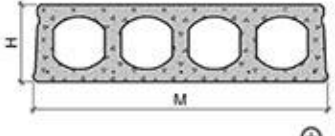
Trinnlydskravet i et kontorbygg er 63 dB, se tabell 8. Byggets etasjeskille har et hulldekke med en tykkelse på 265 mm og minimum 10 mm avrettingsmasse. Med et spenn på over 8 meter er dekket klassifisert som en dekkekonstruksjon med liten flankeoverføring. Dette vil gi en trinnlydisolasjon på 76dB (se figur 9), som ikke tilfredsstillers kravet.

Tabell 8. Trinnydsisolasjon. Grenseverdier fra NS 8175 for kontorer (SINTEF byggforskserien 2013).


Type brukerområde	Klasse B $L'_{n,w}$ (dB)	Klasse C $L'_{n,w}$ (dB)	Klasse D $L'_{n,w}$ (dB)
Mellom kontorer			
Mellom et kontor og møterom	58	63	68
I kontorer fra kommunikasjonsvei, som fellesareal/ fellesgang/korridor			
I møterom fra kommunikasjonsvei, som fellesgang/ korridor	53	58	63

Tabell 10 viser en oversikt over trinnydforbedringstall ved bruk av forskjellige typer tynne dempesjikt. Med unntak av minstenivået til et tynt dempesjikt med parkett og ullpapp, vil resten av alternativene tilfredsstillende trinnydskravet. Det samme gjelder ved bruk av laminat som gulvbelegg.

Tabell 9. Orienterende basisverdier for trinnydnivå for dekker avhengig av flankeoverføring (SINTEF byggforskserien 2015b).

Dekkekonstruksjon (rådekk) inkludert ev. påstøp, gulvavrettingsmasse eller slemming, men uten belegg o.l.	Dekketykkelse	Flatemasse kg/m ²	Liten flankeoverføring		Middels flankeoverføring	
			$L'_{n,w}$ dB	R'_w dB	$L'_{n,w}$ dB	R'_w dB
 Huldekker av betong (HD) med 10 mm sementbasert gulvavrettingsmasse	200 mm + 10 mm	290	–	–	82	52
	220 mm + 10 mm	340	–	–	80	53
	265 mm + 10 mm	390	76	56	78	54
	290 mm + 10 mm	430	74	57	77	55
	320 mm + 10 mm	430	74	58	76	56

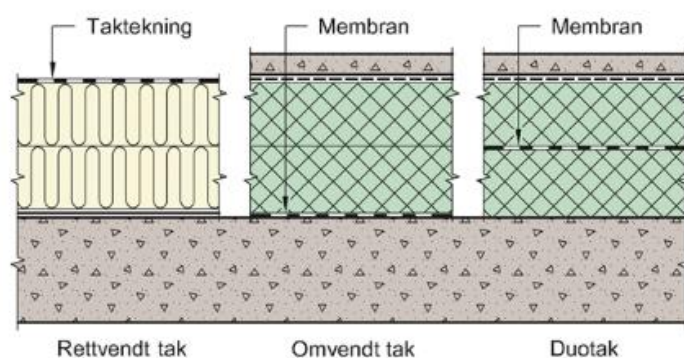
Tabell 10. Trinnlydforbedringstallet for parkett og laminatgulv på tynne dempesjikt (SINTEF byggforskserien 2015b).

Parkett/laminatgulv på tynne dempesjikt	Trinnlydforbedringstall, $\Delta L'_{w}$, og omgjøringsstall for spektrum, $C_{1,50-2500}$					Endring i luftlydisolasjon, $\Delta R'_{w}$, og $C_{50-5000}$		
	Dekker av betong, lettklinker ³⁾ - og porebetong		Hulldekker av betong		Alle dekker	Alle dekker ^{2) 3)}		Alle dekker
	Minst dB	Maks dB	Minst dB	Maks dB	$C_{1,50-2500}$ dB	Minst dB	Maks dB	$C_{50-5000}$ dB
								
Tynne dempesjikt med parkett								
- 13-15 mm parkett, ullpapp	10	13	12	17	0 ¹⁾	-1	-3	-3
- 13-15 mm parkett, 2-3 mm ekspandert PE	17	20	20	24	0 ¹⁾	-1	-3	-3
- 22 mm parkett, 2-3 mm ekspandert PE	17	20	19	22	0 ¹⁾	-1	-3	-3
- 13-15 mm parkett, 13 mm gipsplate, 2-3 mm ekspandert PE	18	22	22	25	0 ¹⁾	-1	-3	-3
- 13-15 mm parkett, 6-8 mm ekspandert PE	19	23	23	26	0 ¹⁾	-1	-3	-3
- 13-15 mm parkett, 4-6 mm porøs trefiberplate	22	24	24	26	1 ¹⁾	-1	-3	-3
- 13-15 mm parkett, 4 mm porøs trefiberplate, 3 mm ekspandert PE	21	24	25	28	0 ¹⁾	-1	-3	-3
- 13-15 mm parkett, 12 mm porøs trefiberplate	21	22	23	24	1 ¹⁾	-1	-3	-3

I åpne kontorlandskap er det ingen krav til luft- og trinnlydisolasjon, men det finnes likevel tiltak som kan ivareta et tilfredsstillende nivå. Med riktig innredning, gode overflatematerialer og ordensregler (regler for telefonbruk og samtaler), kan dette enkelt la seg gjøre.

3.1.4.5 Tak

TEK17 sitt krav til energieffektivitet for tak er 0,13 [W/(m²K)]. Sørfasaden på taket har gode solforhold så her er det enkelt å installere solcellepanel. Med tanke på vedlikehold og rengjøring av dette er det derfor valgt å legge et tak som det skal gå an å oppholde seg på. Kompakte tak er perfekt til dette formålet. Det finnes tre typer kompakte tak. Disse tre er rettvendte tak, omvendte tak og duotak. Et rettvendt tak har dampsperre oppå bærekonstruksjonen med isolasjon og taktekkning øverst, et omvendt tak har membran ned mot bærekonstruksjonen med isolasjon og ballast/slitelag over seg, mens et duotak har membranen i midten mellom isolasjonslagene med et ballast/slitelag øverst, se figur 33.



Figur 33. Kompakte tak (SINTEF byggforskserien 2018b).

En duotakkonstruksjon er prismessig gunstig og er mye brukt ved moderat belastning og trafikk oppå taket. Derfor velges dette som tak til kontorbygget. Isolasjonstykkelsen bestemmes ut fra tabell 11. Betongheller på klosser med isolasjon i to lag og en U-verdi på $0,13[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$ gir en tykkelse på 250 mm.

Tabell 11. Isolasjonstykkelser for omvendt tak (SINTEF byggforskserien 2018b).

Ballast og isolering	Dimensjonerende varme-konduktivitet $\lambda_d = F_m \cdot \lambda_D$	Varmeisolasjon (mm)			
		U = 0,11 W/(m ² K)	U = 0,13 W/(m ² K)	U = 0,15 W/(m ² K)	U = 0,18 W/(m ² K)
Singel	0,035	290	240	210	170
Isolasjon i ett lag, klasse WD(V)3-FT1	0,039	320	270	230	200
Betongheller på klosser	0,036	300	250	220	180
Isolasjon i to lag, klasse WD(V)3-FT1	0,040	330	280	240	200

3.1.4.6 Kuldebro

En kuldebro er et område, ofte i overgangen mellom to bygningsdeler, der varmetapet er høyere. Det finnes to typer kuldebroer, lineære kuldebroer og punktkuldebroer. Konsekvenser med kuldebroer kan være at bygget får et høyere varmetap og energibehov, lav overflatetemperatur, kondensering og kaldras som fører til redusert termisk komfort.

Fasaden og trestenderverket er festet på utsiden av bæresystemet. Dette er veldig gunstig med tanke på kuldebroer da det er kontinuerlig utvendig isolasjon. I denne oppgaven vil det ikke bli regnet ut kuldebroverdier, men alle bygningskomponenter følger TEK17 kravene og derfor settes den normaliserte kuldebroverdien til $0,05 \text{ [W/(m}^2\text{K)]}$, der m^2 angis som oppvarmet BRA.

3.1.5 Diverse installasjoner

I databasen til One Click LCA er det lagt inn standardverdier for vann og avløp, fjernvarme, elektrisk anlegg og ventilasjonsanlegg. I denne oppgaven legges disse til grunn.

3.2 Smart kontorbygg

Det smarte kontorbygget har en identisk bygningskropp og bæresystem som kontorbygget uten smartteknologi. De spesifikasjoner som det er redegjort for så langt vil derfor også gjelde for det smarte kontorbygget. I denne oppgaven legges funksjonskravene i figur 6 og 7 til grunn for det smarte kontoret, altså et Smart predikativt nivå.

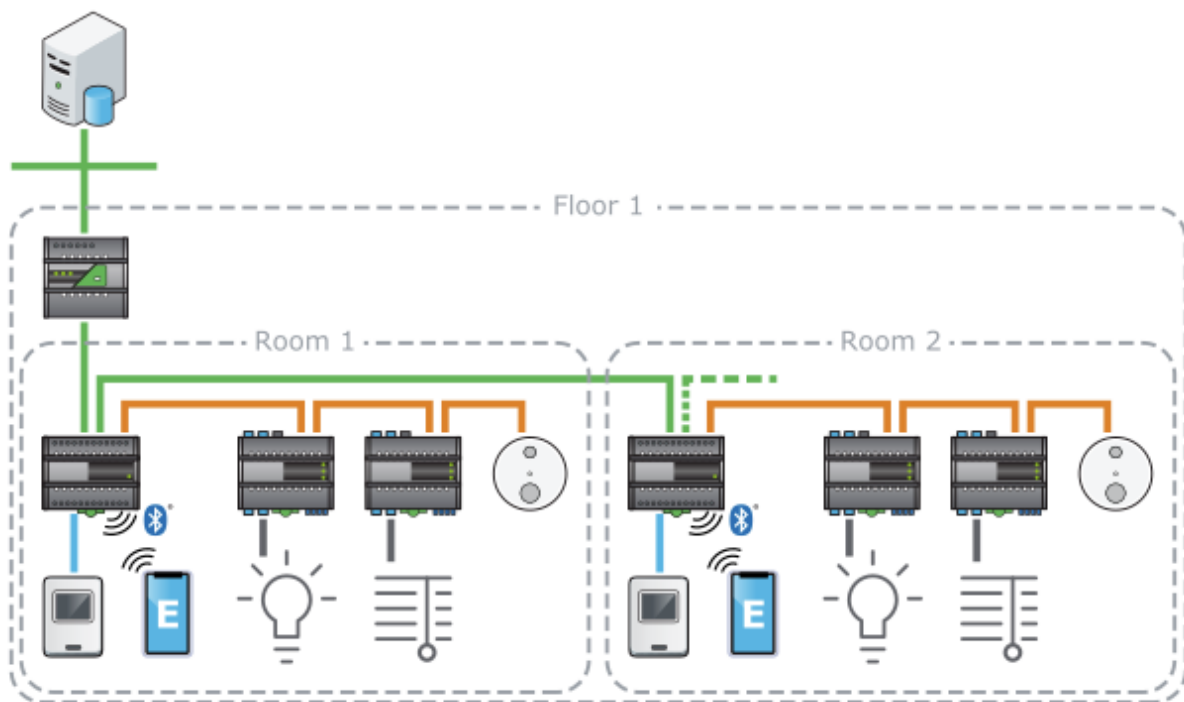
Det finnes få bygg i verden som kan klassifiseres som Smart predikativ. Smartbygg er en relativt ny anvendt teknologi i byggebransjen og LCA-programvarer har ikke oppdatert sine databaser med EPD-er av dagens smartbyggkomponenter. Dette begrenser muligheten til å gjennomføre en helt nøyaktig LCA-analyse og det vil derfor bli gjort noen forenklinger. Det vil bli redegjort for hvilke komponenter som benyttes i LCA-analysen, samt hvilke forenklinger som blir gjort.

3.2.1 SmartX Schneider Electric

One Click LCA har bare én type smartbyggkomponenter i sin database, noe som gjør at det smarte kontorbygget er nødt til å benytte seg av denne typen for å oppnå en så nøyaktig LCA-

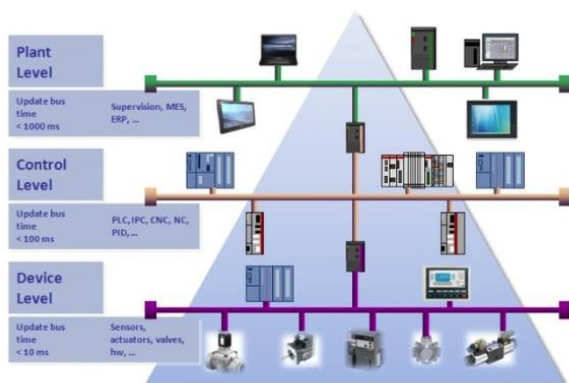
analyse som mulig. Leverandøren av komponentene er Schneider Electric, et verdensomspennende selskap som blant annet driver med bygningsautomasjon, BMS, smartbyggteknologi samt design, installering og drift av datasentre. Det er bedriftens EcoStruxure-serie det er produsert EPD-er til og som ligger i databasen til One Click LCA. I databasen kalles serien for SmartX, og derfor vil det også kalles for SmartX i denne oppgaven.

Et komplett byggeledelsessystem for et smartbygg trenger data fra alle komponentene og enhetene i bygget. Alt må være tilkoblet moduler som kan sende lesbar data til byggets «hjerne». Det vil si at stikkontakter, datamaskiner, ventilasjonsanlegg, sensorer etc. må kobles til en input/output-modul som sender og mottar informasjon. Figur 34 viser hvordan Schneider Electric sitt byggeledelsessystem er oppbygd.



Figur 34. Oppsett av byggeledelsessystemet til Schneider Electric (Schneider Electric 2019a).

Oppbygningen av et byggeledelsessystem har formen til en pyramide. Toppen av pyramiden er «hjernen» der dataen blir behandlet og bunnen er enhetene (sensorer, lys, stikkontakter etc.) som samler inn dataen. Jo høyere opp i pyramiden, jo færre enheter er det, men samtidig øker mengden med data.



Figur 35. Visualisering pyramideform (Calvo, 2016).

I bunnen av pyramiden hentes det inn data. For å kontrollere og analysere hele byggets funksjoner, må lys, stikkontakter, solskjerming og inneklimakontroll kobles til moduler som kan overføre lesbare data. En lyskilde som er koblet opp med en strømkabel kan kun bli slått av eller på, eventuelt dimmes. En lyskilde som er tilkoblet med en ethernetkabel, kan motta strøm og overføre informasjon videre opp i systemet. Dette gir blant annet muligheten til å justere lysstyrken automatisk etter brukerens behov. For eksempel vil lysstyrken justeres etter brukerens eget forhåndsinnstilte ønske når brukeren går inn på et cellekontor eller setter seg ved en arbeidsplass i et åpent kontorlandskap, uavhengig av hvilket kontor eller arbeidsplass brukeren setter seg på. Dette er ønskelig i et smart predikativt kontorbygg.

Alle enheter, det vil si, stikkontakter, lys, solskjerming og inneklima knyttet til et cellekontor eller en sone i et åpent kontorlandskap kobles til en SmartX I/O-modul, se figur 36. Dette er en input/output-modul som gir enhetene et eget ID-nummer som gjør at de kan kommunisere med IP-signaler til resten av systemet. Det finnes flere typer I/O-moduler i SmartX-serien til Schneider Electric, der ulike typer moduler brukes til ulike enheter. Ventilasjon, varme og A/C skal kobles til en type modul, mens stikkontakter skal kobles til en annen. Det vil si at det er 4-6 forskjellige I/O-moduler per rom eller sone, avhengig av størrelsen på rommet. I denne oppgaven forenkles det til at enhetene kobles til samme type modul, altså modulen illustrert i figur 36. Dette er fordi det bare er denne SmartX I/O-modulen som ligger i databasen til One Click LCA.

En SmartX I/O-modul sender ut spesifikke mengder strøm til sine enheter for å optimalisere energibruken. Mengden strøm er avhengig av behovet til enheten. En solskjermmotor bruker en annen strømmengde enn en ventil i en fjernvarmeradiator. En SmartX Power Supply vil omforme strømmen til korrekt størrelse. Disse strømmodulene kobles til SmartX I/O-moduler som har behov for det.



Figur 36. SmartX I/O-modul (Schneider Electric, 2016a) (til venstre) og en SmartX Controller Power Supply (Schneider Electric, 2016b).

Neste steg opp i pyramiden er at alle SmartX I/O-modulene kobles til en SmartX RP-C-modul, se figur 37. Det er fra denne modulen at hvert rom og hver sone styres. Sensorer som måler CO₂-nivå, luftfuktighet, temperatur og bevegelse blir også koblet til denne modulen. Det er montert en SmartX RP-C modul i hvert rom med unntak av åpne kontorlandskap der det er behov for to moduler. Heller ikke SmartX RP-C-modulen ligger inne i databasen til One Click LCA, men en tilsvarende modell blir brukt og det antas at materialinnhold og energiforbruk er lik verdiene til modulen som er brukt i analysen.



Figur 37. SmartX RP-C-modul (Schneider Electric, 2019b).

Videre må RP-C-modulene til hele etasjen kobles i en AS-P-modul, se figur 38, som er plassert i det tekniske rommet. Alle RP-C-modulene kobles til AS-P-modulen med en RS-485-kabel. En RS-485-kabel er designet til å overføre data til og fra 32 forskjellige enheter. Hovedfunksjonen til AP-P-modulen er at den reduserer behovet for kabling.



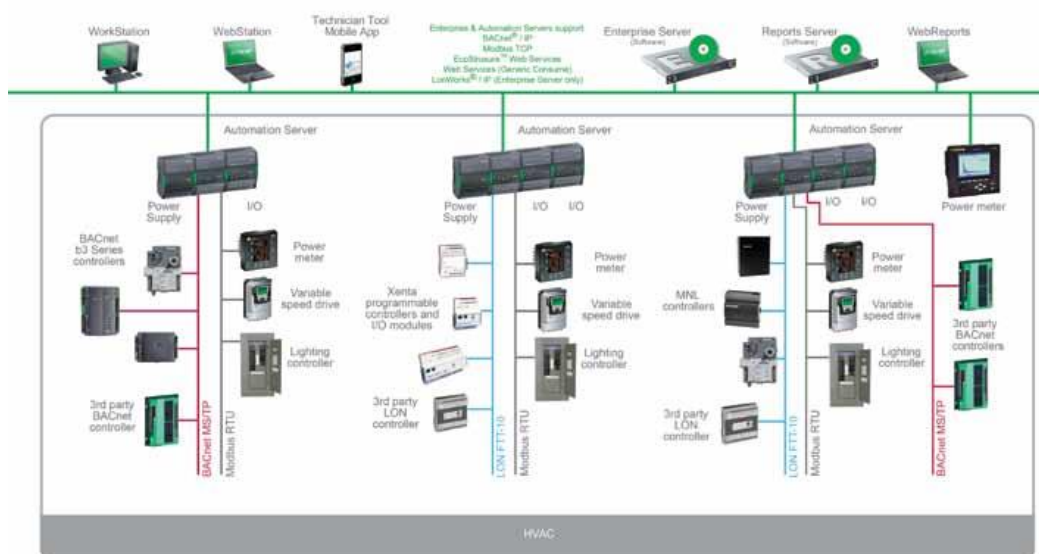
Figur 38. AS-P-modul (Schneider Electric, 2015) (til venstre) og SmartX Controller Terminal Base (Schneider Electric, 2016c) (til høyre).

Alle moduler i SmartX-serien til Schneider Electric festes på SmartX Controller Terminal Base, se figur 38. En SmartX Controller Terminal Base skrues på veggen også festes de andre modulene enkelt utenpå.

På toppen av pyramiden, er det i dette tilfelle en ES, Enterprise Server, som er hjernen til byggeledelsessystemet. Nøkkelfunksjonen til programvaren er å analysere, kontrollere og overvåke dataen som blir samlet inn. Softwaren leter etter trender, defekte enheter og unormale hendelser og programmeres til å reagere ut ifra hva det er som har skjedd. Et eksempel på dette kan være:

Et møte blir avlyst like før det skal starte på grunn av et trafikkuhell der flere av møtets deltakere står i kø. Bygget vet at det skal holdes et møte og har derfor varmet opp rommet og regulert luftmengden til antall deltakere. Bygget merker så at det ikke er noen i rommet, og sier ifra om det. En mulig programmert løsning på dette kan være at møterommet skrues av og et nytt møte settes når møterom har tid. Møterommet blir også ledig til bruk av andre ansatte i bygget.

Et byggeledelsessystem kan hele tiden utvides og nye enheter kan legges til. Schneider Electric sitt system kan kommunisere med andre leverandørers teknologi. I dette kontorbygget er drift og overvåking av byggeledelsessystemet lagt til en ekstern operatør. Dette er vanlig praksis i smarte kontorbygg siden håndtering av store datamengder krever spesifikk kompetanse.



Figur 39. Illustrasjon av fleksibilitet til byggeledelsessystemet (Schneider Electric, 2013).

3.2.2 Sensorer

Felles for alle IoT-sensorer er at de henter inn informasjon. Måling og registrering enten det er gjennom bevegelse, kontakt, nivå, elektrisk strøm eller mengde partikler i luften, konverteres til en elektrisk melding som sendes videre til byggeledelsessystemet. Dette er viktig for at det smarte kontorbygget skal oppnå et smart predikativt nivå. I dette kontorbygget benyttes disse sensortypene:

- Temperatursensor
 - o Måler temperaturen i hvert rom/sone
- Luftfuktighetssensor
 - o Måler luftfuktighet i hvert rom/sone
- Luftkvalitetssensor
 - o Måler luftkvalitet i hvert rom/sone
- Bevegelsessensor
 - o Overvåke bevegelser i rommet, for eksempel under kontorpulten.
 - o Brukes til sikkerhetsovervåking og innbruddsalarmer.
- Lyssensor
 - o Måler lysstyrke
- Kontaktsensor
 - o Måler om for eksempel en dør eller et vindu er åpent eller lukket
- Sensor for elektrisk strømovertvåking
 - o Måler sanntids strømforbruk i elektriske kretser
- Vannkvalitetssensor
 - o Måler vannkvalitet
- Røyksensor
 - o Varsel ved brann
- Trykksensor
 - o Måler trykk, brukes til regulering av fjernvarme og ventilasjonssystem.

I databasen til One Click LCA finnes det kun to typer sensorer og det er derfor behov for en forenkling. Den ene sensoren i databasen er en bevegelsessensor og den andre er en teknisk sensor. Begge EPD-ene er produsert i Frankrike av MDEGD som er en standard generisk miljødatamodul gjort tilgjengelig av det franske departementet med ansvar for bygging. Den

tekniske sensoren gir en gjennomsnittsverdi for totalt klimautslipp for sensorer brukt til VVS-utstyr, elektronisk utstyr, brannsikkerhet og tekniske detektorer. Forenklingen blir at $\frac{3}{4}$ av byggets sensorer settes som en teknisk sensor mens de resterende er bevegelsessensorer.

The Edge i Amsterdam – betegnet som det mest intelligente kontorbygget i verden - har et totalt BRA på 40 000 m² og har installert 28000 sensorer (Randall, 2015). Dette gir bygget 0,7 sensorer per m². Siden det smarte kontorbygget i denne oppgaven ikke har en like avansert energikilde og ikke har garasjekjeller, antas det et behov på 0,5 sensorer per m². En enkel utregning basert på sensorlisten ovenfor, viser et totalt antall sensorer på 2100 som gir 0,55 sensorer per m². Se utregning i vedlegg A.

3.2.3 In-door positioning system

In-door positioning system, eller et innendørs posisjoneringssystem brukes i smartbygg til å navigere og lokalisere. Innendørs strekker ikke GPS og annen satellitteknologi til, så det må benyttes andre systemer. Tabell 12 viser en oversikt over forskjellige typer posisjoneringssystem som finnes på markedet. I denne oppgaven brukes det et WLAN-basert system. Begrunnelsen for dette valget er følgende: Innendørs posisjoneringsteknologi er stadig i utvikling. Det kan komme nye og bedre systemer innen få år. Ved å benytte seg av et system der det ikke er behov for ytterligere installasjoner, vil bygget være tilgjengelig for nye systemer. Om et WLAN-basert system ikke strekker til på nøyaktighet, er det en liten investering som må til for å oppgradere til for eksempel BLE Beacons. Det antas at dette vil gi utslag på en LCA-analyse, men påvirkningen vil være lav og kan derfor neglisjeres.

Tabell 12. Oversikt over markedets innendørs posisjoneringssystem (Karpinen, 2018).

Technology	Installation	Advantages	Disadvantages	Positioning Method	Accuracy (m)
BLE Beacons	Easy installation in different surfaces in buildings, multiple beacons are required	Quite affordable, easy placement, long battery life	Maintenance needed: battery change, Multiple beacons are required	Trilateration, Cell-based method	1–4
BLE Tags & Locators	Locators installed in the building, user carries a tag	Very accurate	Requires installations in the building	Angle of Arrival	0.1–0.5
WLAN	No need for additional infrastructure	Affordable, no need to invest in positioning devices	Environmental changes affect the positioning accuracy, WLAN APs might not cover the whole building	Fingerprinting, Trilateration	3–4
Geomagnetic field	No need for additional infrastructure	No need to invest in or install positioning devices, available in every building	Electronic devices may cause disturbance to the geomagnetic field, challenging to make positioning accurate	Fingerprinting	0.6–10.3
RFID	Easy installation in different surfaces in buildings, multiple RFID tags are required	affordable, easy placement	Multiple tags are needed for accurate positioning	Trilateration	0.01–3.25
NFC	Easy installation in different surfaces in buildings, multiple NFC tags are required	affordable, easy placement, no need for maintenance	Multiple tags are needed for accurate positioning, not real time positioning	-	Not in real time
Ultrasound	Ultrasound receivers/emitters installed in the building	Accurate positioning	Accuracy might suffer from echo, other noises, obstacles	Trilateration	0.03–0.2
Vision Based positioning	Cameras installed in the building	User does not need any positioning device, one camera covers wide area	No privacy for the people being detected, changing light conditions may affect accuracy	Angle of Arrival	1–4
5G	Many access points required in indoor environments to form ultra-dense network	Will be available in many spaces	Not yet in commercial use	Angle of Arrival	Not available yet

3.2.4 Serverrom

Det er gjennomført en enkel studie som handler om karbonfotavtrykket til en skybasert server og et serverrom plassert i næringsbygget (Nilvør, 2019). Studiet peker på to faktorer som er særlig viktig når det gjelder et serverroms karbonfotavtrykk. Det er for det første om serverrommets strømforbruk produseres av grønn strøm eller ikke, og om serveren er skybasert eller ei. Det gjorde at studien endte opp med fire kategorier. Selv om det er mulig å operere med flere kategorier, ble det i studien ansett som viktigere med en enkel og oversiktlig oppdeling som det er lett for bedrifter å forholde seg til.

De fire kategoriene er:

1. Skybasert server drevet av 100% fornybar strøm
2. Skybasert server drevet av 0% fornybar strøm
3. Server plassert i bygget, drevet av 100% fornybar strøm
4. Server plassert i bygget drevet av 0% fornybar strøm

Grønn og fornybar strøm betyr at produksjonen er fossilfri. I studien settes karbonutslippet til fornybar strøm lik 0, noe som kan diskuteres med bakgrunn av at kraftverket som produserer fornybar strøm har sitt eget karbonfotavtrykk. Sammenlignet med karbonfotavtrykket til fossil strømproduksjon blir forskjellen så stor at det går an å neglisjere dette og kalle strømmen for 100% fornybar.

Det viser seg at det kan være store forskjeller på effektivitet og utnyttelse av servere som er plassert i skyen og i næringsbygget. En stor skybasert serveroperatør oppnår rundt 65% serverutnyttelse, mens en server plassert i bygget bare oppnår 15% utnyttelse. I tillegg er en server plassert i bygget 29% mindre effektiv med tanke på strømforbruk. Skybaserte servere benytter seg av optimalisert utstyr designet for å drifte serverrommet.

Studiet forenkler observasjonene og legger inn en samlet faktor på 0,5 for strømforbruk og serverutnyttelse til en skybasert lagringstjeneste. En standard 2019 R640 Dell-server bruker 1760,3 kWh/år og har en bunden energi på 320kg CO₂e/år med en oppgitt levetid på 4 år. Studien bruker en gjennomsnittsverdi for CO₂ekvivalenter fra Norden på 0,329 CO₂e/kWh. Resultatet fra de 4 kategoriene er:

1. Utslipp fra skybasert server drevet av 100% fornybar strøm: 160 kg CO₂e/år per server.
2. Utslipp fra skybasert server drevet av 0% fornybar strøm: 450 kg CO₂e/år per server.
3. Utslipp fra server plassert i bygget, drevet av 100% fornybar strøm: 320 kg CO₂e/år per server.
4. Utslipp fra server plassert i bygget, drevet av 0% fornybar strøm: 899 kg CO₂e/år per server.

Resultatet viser at det minste karbonfotavtrykk er en skybasert server som er drevet av 100% fornybar elektrisitet. Derfor velges det å ha en skybasert serverløsning i denne oppgaven. Norge er et land med grønn strøm lett tilgjengelig og inntrykket i bransjen er at i smarte kontorbygg legges servere og bygningsledelsessystemet eksternt.

3.2.5 Energiforbruk

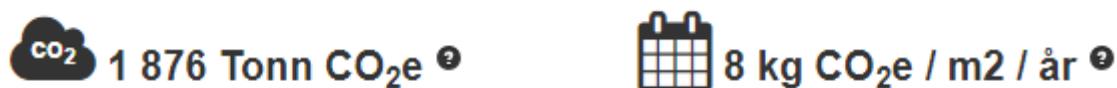
Aardal skriver på ATEA sine hjemmesider at det er fem hovedgevinster med smartbyggteknologi (Aardal, 2017). En av disse hovedgevinstene er redusert energibruk. Reduksjonen kommer blant annet av at sensorer skrur av lys, varme eller kjøling og ventilasjon i rom som ikke er i bruk. Det er gjennomført flere studier som bekrefter et redusert energiforbruk, men graden av reduksjonen varierer i studiene. En studie gjennomført for Europakommisjonen av PwC og IDATE DigiWorld viser at det er mulig å redusere energibruket til ventilasjon, varme og kjøling med 5-15% og strømforbruk for lys med 60% (Bonneau et al., 2017). ACEEE (American Council for an Energy-Efficient Economy) stipulerer at et gjennomsnittlig kontorbygg kan spare 18% av sitt totale energiforbruk med smartbygginstallasjoner. Schneider Electric har selv loggført energibesparelse i byggene de har installert sitt byggeledelsessystem og sier at gjennomsnittlig energibesparelse er 24%. På det meste har en kunde spart opp mot 85%. Siden denne oppgaven har brukt Schneider Electric sitt byggeledelsessystem, blir 24% spart energiforbruk lagt til grunn i LCA-programmet i forhold til referansebygget (Schneider Electric, 2019c).

4. Resultater

I dette kapitlet presenteres LCA-analysenes resultater. I tillegg vil resultatene for kontorbyggene sammenlignes. Resultatene er oppgitt i kg (eller tonn) CO₂ ekvivalenter, samt CO₂e per funksjonell enhet. Funksjonell enhet er beskrevet i kapittel 3 og er 1 m² oppvarmet bruttoareal (BRA).

4.1 Kontorbygg uten smartteknologi

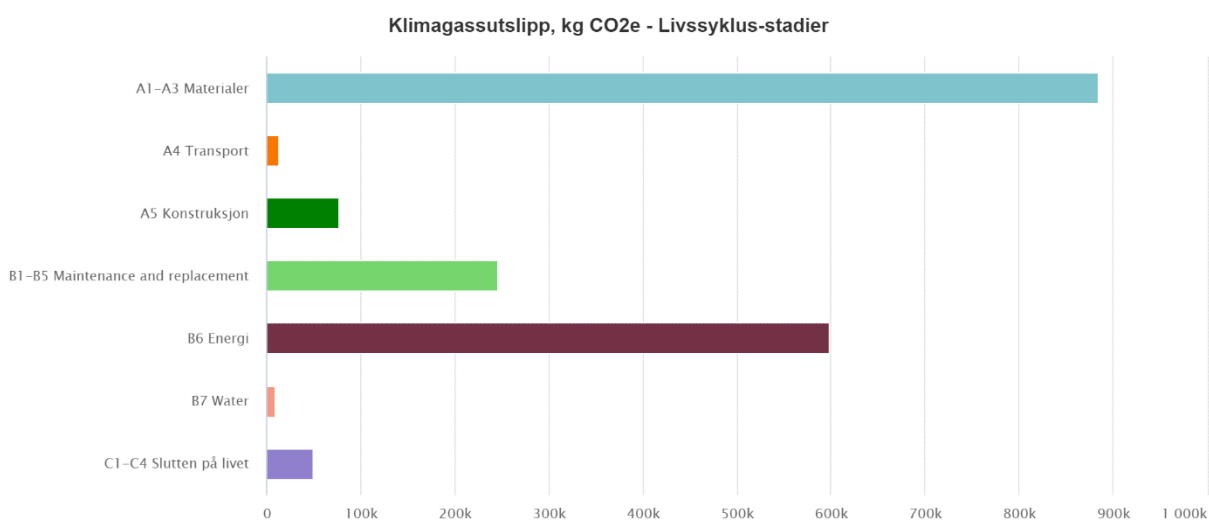
Som figur 40 viser, er det totale utslippet til kontorbygget uten smartteknologi 1876 tonn CO₂e, 481 kg CO₂e/funksjonell enhet og 8 kg CO₂e/m²/år.



Figur 40. Totalt utslipp for kontorbygg uten smartteknologi.

Det fremgår tydelig av figur 41 at de største utslippene for kontorbygget uten smartteknologi ligger i materialene. Kontorbygget er ikke innredet med kontorutstyr som for eksempel stoler, dataskjermer og printere. Dette utstyret har behov for mye vedlikehold og utskiftninger, og kan være en grunn til at B1-B5 ikke har en så høy andel av det totale utslippet.

Linjediagrammet viser også at energiforbruket i driftsfasen står for en stor andel av det totale klimautslippet.



Figur 41. Linjediagram av utslipp fordelt i LCA-faser.


Tabell 13. Totalt utslipp fordelt på fasene.

Sektor		Klimagassutslipp kg CO2e [?]
A1-A3 [?]	Byggematerialer	8,84E5
A4 [?]	Transport til byggeplassen	1,36E4
A5 [?]	Byggeplass	7,61E4
B1-B5	Maintenance and material replacement	2,46E5
B6 [?]	Energibruk i drift	5,98E5
B7 [?]	Water use	9E3
C1-C4	Livsløpets slutt	4,93E4
D [?]	Utover livsløp (ikke inkludert i totalen)	-2,91E5
Total		1,88E6
Resultater per nevner		
User hours 12.0		1,56E5
Antall brukere 150.0		1,25E4
User days 230.0		8,16E3
Brutto internt gulvareal (IPMS / RICS), m2 3900.0 m2		4,81E2

4.2 Smartkontor

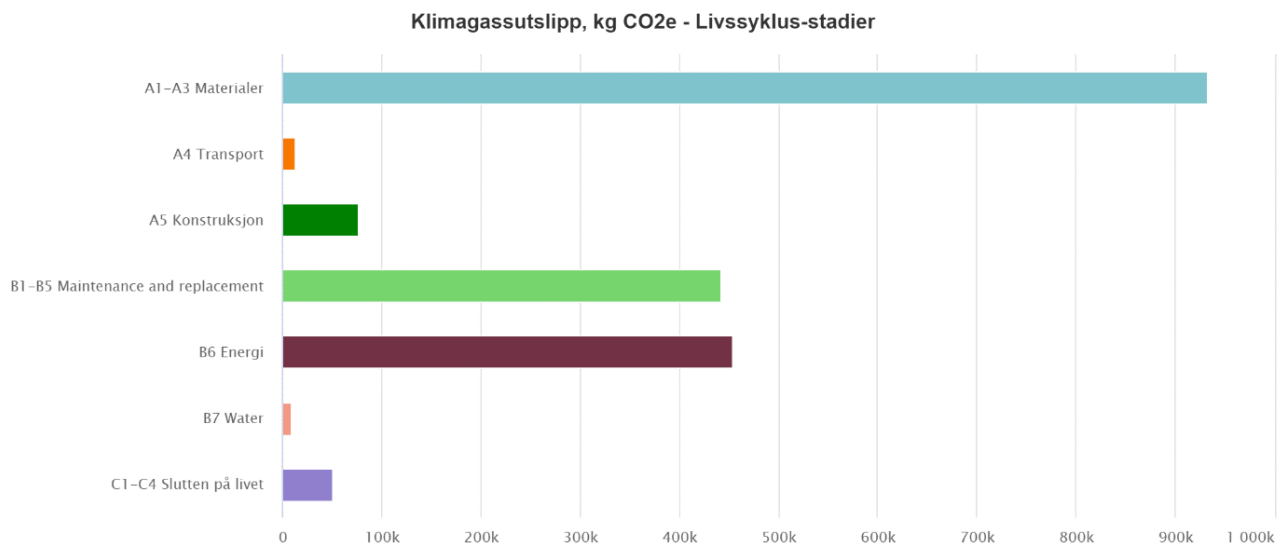
Det totale utslippet til smartkontoret er 1978 tonn CO₂e, 508,2 kg CO₂/funksjonell enhet og 8,5kg CO₂e/funksjonell enhet/år. Se tabell 14 for å få detaljert oversikt over det totale utslippet fordelt på fasene til en LCA-analyse.

 **1 978 Tonn CO₂e**

 **8 kg CO₂e / m² / år**

Figur 42. Totalutslipp for kontorbygg.

Det største utslippet er også knyttet til materialene i et smart kontorbygg. Fase B1-B5 (vedlikehold og utskiftning) og B6 (Energiforbruk) har cirka like høy andel av det totale utslippet. Dette er forventet og stemmer med det man kunne anta fordi smartkomponenter krever vedlikehold og utskiftning, og fordi smartteknologien senker energiforbruket ved å tilpasse seg til det behovet som til enhver tid finnes. Se figur 43 og tabell 14. Det er verdt å merke seg at klimabelastningen til fasene A1-A3 (produksjonsfasen) er omtrent like stor som fasene B1-B6 (bruksfasen)



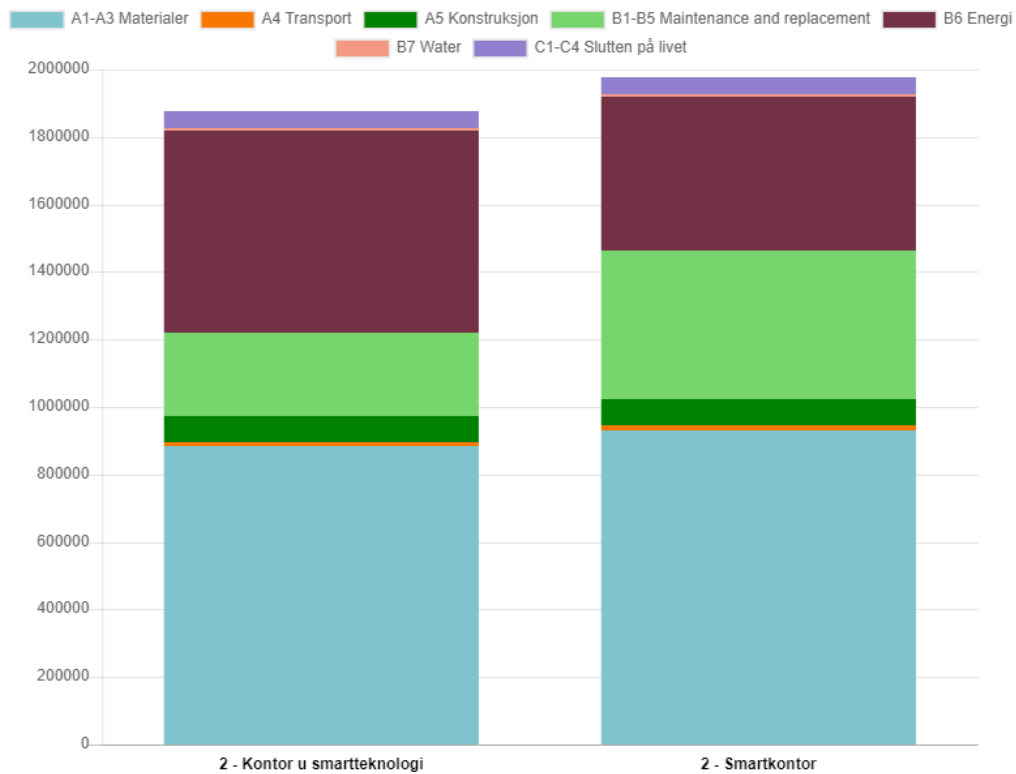
Figur 43. Linjediagram av utslipp fordelt i LCA-faser.

Tabell 14. Totalt utslipp fordelt på fasene.

	Sektor	Klimagassutslipp kg CO ₂ e [?]
A1-A3 [?]	Byggematerialer	9,32E5
A4 [?]	Transport til byggeplassen	1,36E4
A5 [?]	Byggeplass	7,61E4
B1-B5	Maintenance and material replacement	4,43E5
B6 [?]	Energibruk i drift	4,54E5
B7 [?]	Water use	9E3
C1-C4	Livsløpets slutt	5,02E4
D [?]	Utover livsløp (ikke inkludert i totalen)	-2,91E5
	Total	1,98E6
	Resultater per nevner	
	Brutto internt gulvareal (IPMS / RICS), m ² 3900.0 m ²	5,07E2
	User hours 12.0	1,65E5
	Antall brukere 150.0	1,32E4
	User days 230.0	8,6E3

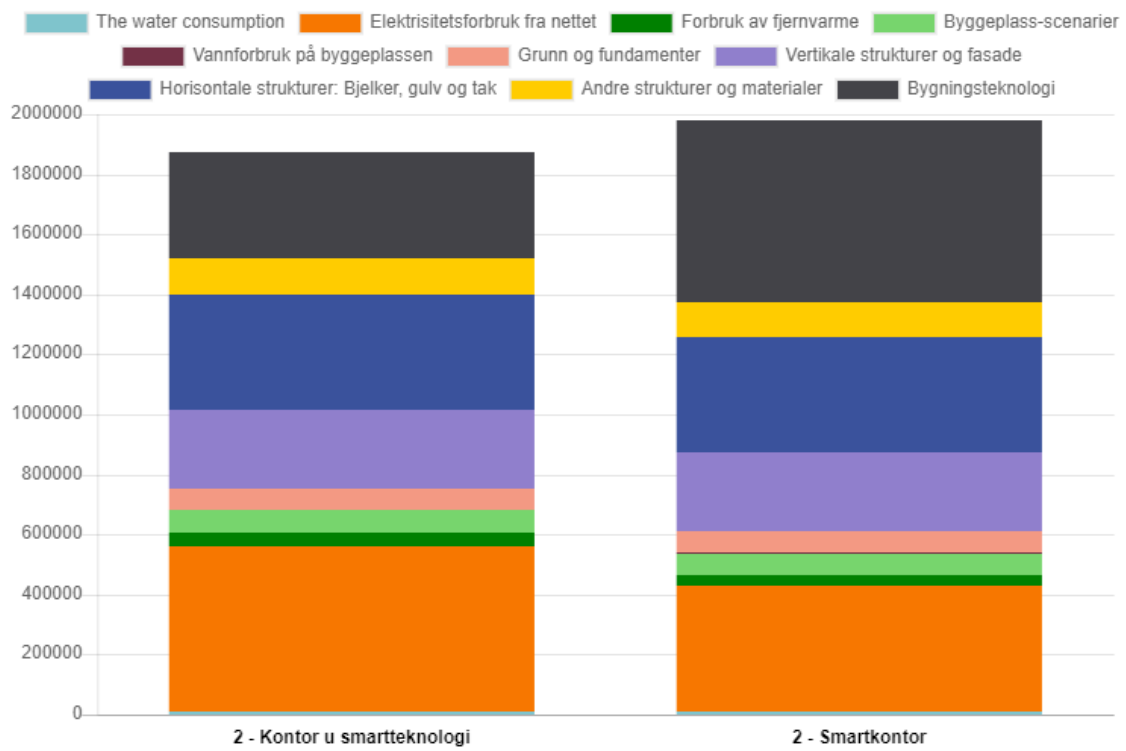
4.3 Sammenligning av kontorbygg med og uten smartteknologi

Det smarte kontorbygget har et samlet utslipp som er 102 tonn CO₂ ekvivalenter høyere enn kontorbygget uten smartteknologi. I livsløpvurderingsfasene B1-B5 og B6 viser figur 44 at det er stor forskjell i klimapåvirkning mellom de to kontorbyggene.



Figur 44. Totalt utslipp med fordeling over LCA-fasene for begge kontorbygg.

Mer detaljert viser figur 45 hvilke bygningsskomponenter og type energiforbruk som klimagassutslippene kommer fra. Når det gjelder bygningsteknologi dreier forskjellen mellom kontorbyggene seg om smartkomponentene installert i bygget. I dette tilfellet handler det om Schneider Electric sine moduler, ethernetledninger og tekniske- og bevegelsessensorer. Det elektriske forbruket på nettet er forskjellig på grunn av energibesparelsen med smartteknologi. Ellers er klimapåvirkningen på de andre parameterne lik med unntak av et ørlite mindre forbruk av fjernvarme fra det smarte kontorbygget. Likheten skyldes at byggene er identiske med henblikk på disse parameterne.

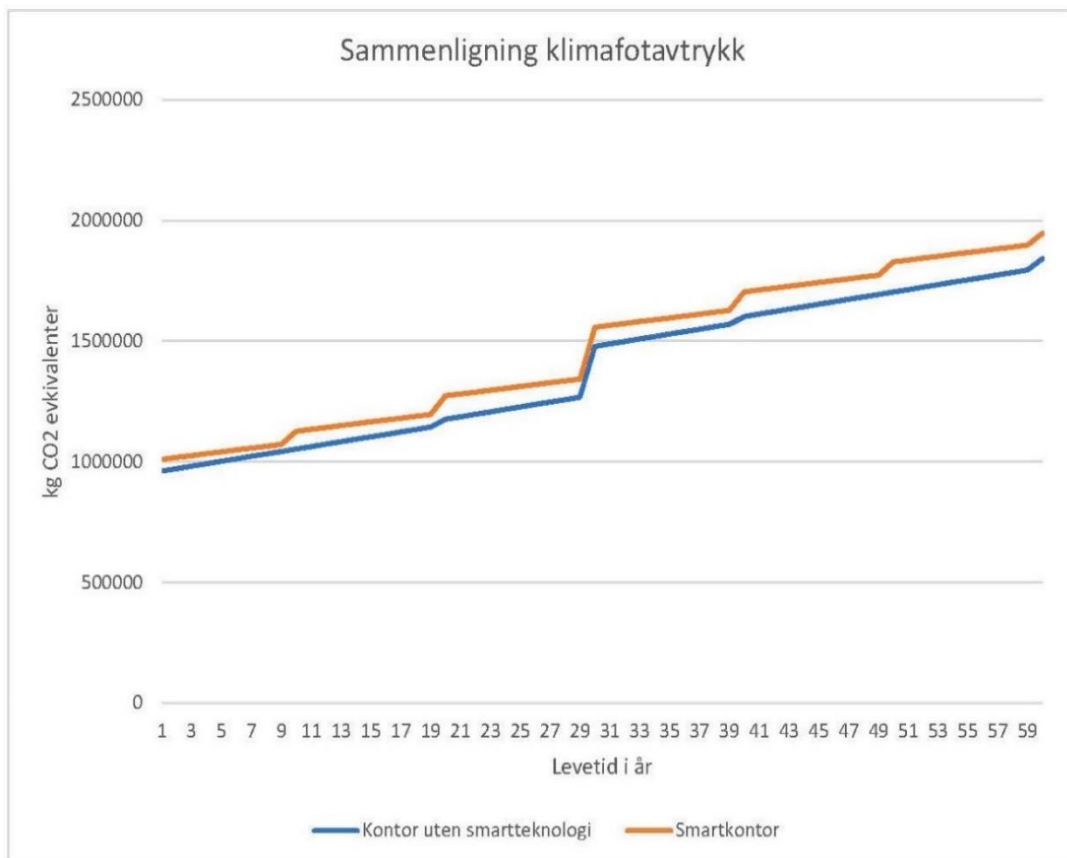


Figur 45. Totalt utslipp fordelt etter type struktur og type energiforbruk.

5. Diskusjon

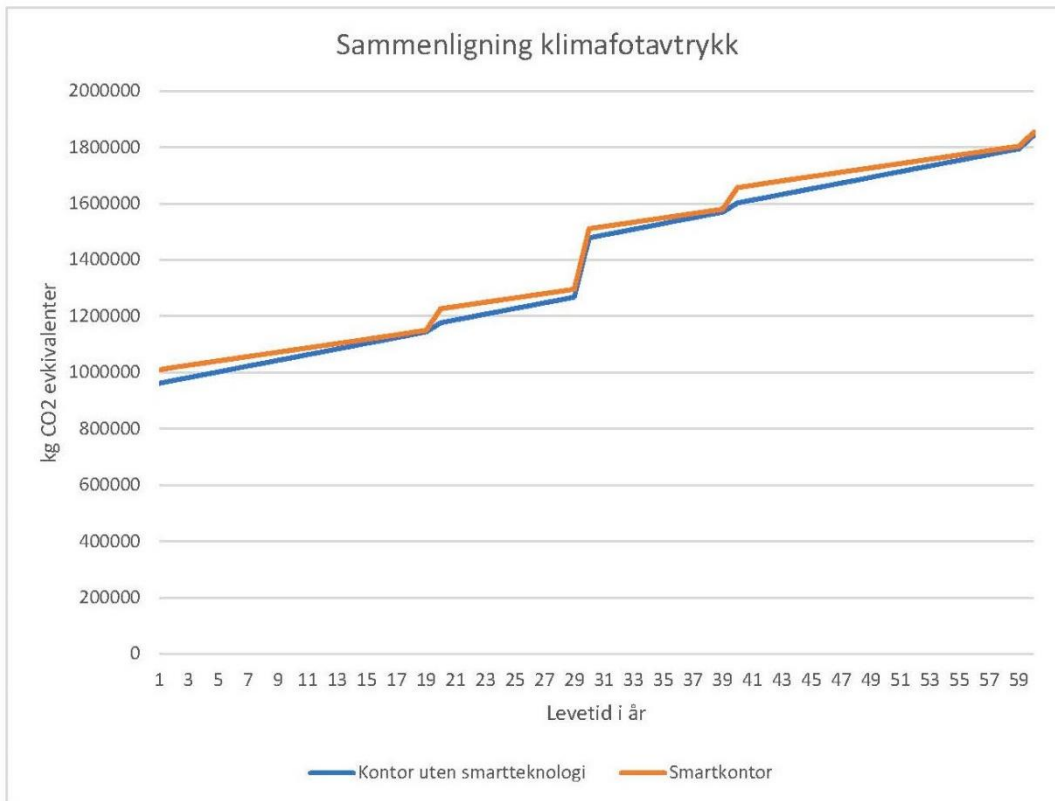
Målet med denne oppgaven er å finne ut hvilken klimapåvirkning et smart kontorbygg har. Dette ble gjennomført med å designe et kontorbygg som tilfredsstillt energirammene i TEK17, altså et kontorbygg uten smartteknologi. Videre ble kontorbygget oppgradert til et smart kontorbygg og en LCA-analyse av begge kontorbyggene ble utført. Resultatene viser det totale klimafotavtrykket, fra vugge til grav.

Figur 46 viser det totale utslippet for hvert av byggene fordelt over 60 år. Grafene viser at det smarte kontorbygget hele tiden ligger over kontorbygget uten smartteknologi. Hovedgrunnen til dette er at smartkomponentene må skiftes ut hvert tiende år.



Figur 46. Linjediagram som viser samlet utslipp over livstid begge kontorbygg.

Figur 47 viser resultatet hvis smartbyggkomponentenes levetid ble forlenget fra 10 til 20 år.



Figur 47. Linjediagram som viser samlet utslipp over livstid begge kontorbygg med en levetid på smartteknologi på 20 år.

Det fremgår av figuren at utslippet i det smarte kontorbygget sammenlignet med et kontorbygg uten smartteknologi blir tilnærmet like stort. Det må tilføyes at en levetid på 20 år på smartkomponenter synes lite realistisk all den tid den teknologiske utviklingen går så fort at komponentene lett vil gå ut på dato. Det er snarere slik at en levetid på 10 år kan synes i lengste laget. Det er ikke tatt høyde for at restverdien av smartkomponenter i fremtiden kan økes ved gjenbruk og gjenvinning.

Det er viktig at LCA-studier blir designet og gjennomført i henhold til standardisert metodikk. Når det er sagt er det også av betydning å være oppmerksom på en begrensning som LCA-analysen representerer i forhold til de beregninger som det er mulig å foreta. I analysen er kun det totale klimafotavtrykket på byggenes materialer og energiforbruk fra vugge til grav inkludert. Aardal (2017) trekker frem fem hovedgevinster ved installering av smartbyggteknologi. Disse er konvergent infrastruktur, økt produktivitet og samhandling, optimalisert areal og ressursbruk, et proaktivt bygg og redusert avfall og energibruk. Av disse

fem er det bare én som kan avleses direkte i resultatene fra LCA-analysen i denne oppgaven. Redusert energibehov har en direkte påvirkning i en LCA-analyse, mens en annen hovedgevinst som optimalisert areal- og ressursbruk kan ha en indirekte påvirkning på det totale klimafotavtrykket.

Aardal viser til at nye smartbygg i USA blir designet for 0,6 arbeidsplasser per person. Han sier videre at når behovet for kontorareal reduseres, kan det ledige området brukes til å heve trivselen gjennom for eksempel å bygge en kaffebar eller et biljardrom. Hvis arealeffektivitet tas ut i mindre bygg vil dette ha en stor klimaeffekt siden dette innebærer redusert klimapåvirkning i alle fasene som LCA-analysen omfatter. Et eksempel på dette er Deloitte sitt hovedkontor i Nederland, the Edge, et kjent smartbygg som ble ferdigstilt i slutten av 2014. Da bygget ble designet, valgte bedriften å prosjektere kontorbygget med 1000 arbeidsplasser for sine 2500 ansatte. Det vil si 0,4 arbeidsplasser per person. Dette lar seg gjøre fordi de ansatte ikke har faste plasser, men de blir tildelt en ledig plass når de ankommer kontoret, populært kalt free seating.

I denne oppgaven kunne det blitt tatt høyde for dette ved å gjøre smartkontoret mindre enn kontorbygget uten smartteknologi. Som resultatene i kapitlene 4.1 og 4.2 viser, kommer den største delen av klimagassutslippet fra materialene. Helt konkret kunne smartkontoret i denne oppgaven hatt en etasje mindre, og dermed fått senket det totale klimafotavtrykket på grunn av reduserte materialmengder. Ifølge «Eiendomssektorens veikart mot 2050» er det største gapet mellom dagens praksis og 2050-visjonen nettopp ineffektiv arealutnyttelse og den rådende holdning til bruk av materialressurser. Smartteknologi i bl.a. kontorbygg kan bidra til å realisere eiendomssektorens fremtidsvisjon.

I kapittel 3.2.3 blir det gjort rede for valg angående serverrom. Å plassere dette i et datasenter ble den valgte løsningen og derfor inngår ikke serverrommets klimapåvirkning i resultatene. Selv om et datasenter driftes mer effektivt enn et lokalt serverrom, betyr det ikke at dette utslippet kan neglisjeres. Det globale energiforbruket til datasentre var i 2017 på 416 terawatt (Marashi, 2020). Det vil si cirka 3% av det totale energiforbruket til hele verden det året, eller 40% mer enn Storbritannia sitt årsforbruk. Dette representerer mye energi, og siden cirka 70% av verdens energiproduksjon er med fossilt brennstoff, kan det ha store klimapåvirkninger i land som ikke har ren energi. Det er derfor rimelig å anta at det smarte kontorbygget vil ha en større klimapåvirkning enn resultatet i denne oppgaven tilsier.

Til slutt er det på sin plass å minne om at hva som til syvende og sist er de mest miljøvennlige valgene når det gjelder kontorbygg er betinget av konteksten for det enkelte bygg, og hvordan beregninger blir foretatt. I vurdering av disse kan ulike faglige hensyn bidra til at ulike konklusjoner trekkes. Det bør derfor advares mot at disse betraktes som allmenngyldige. Skullestad et al. (2016) understreker det samme poenget når de peker på risikoen ved å trekke generelle slutninger basert på resultater fra en enkelt LCA-analyse.

6. Konklusjon

I det følgende skal det ses nærmere på forskningsspørsmålet med tilhørende underspørsmål og de konklusjoner som kan trekkes på bakgrunn av resultatene.

Følgende forskningsspørsmål ble reist innledningsvis:

Hvilken miljøpåvirkning har et smart kontorbygg sammenlignet med et kontorbygg uten smartteknologi?

For å besvare dette forskningsspørsmålet ble følgende underspørsmål formulert:

- 1. Hvilken betydning har hyppig utskiftning av smartkomponenter for klimapåvirkning i et livsløpsperspektiv?*
- 2. Hvilken betydning kan bedre arealutnyttelse ha for klimafotavtrykket til et kontorbygg med smartteknologi?*
- 3. Hvilken betydning kan energibruk til datasentre ha for klimapåvirkning til et kontorbygg med smartteknologi?*

I denne oppgaven er LCA-analyse over livsløpet benyttet for å beregne klimapåvirkning fra et kontorbygg med og uten smartteknologi. På bakgrunn av analysene kan følgende konklusjoner trekkes:

Klimapåvirkning fra et kontorbygg med smartteknologi er høyere enn klimapåvirkning fra et kontorbygg uten smartteknologi over livsløpet. Smartbygg kan derfor ikke uten videre sies å være et klimatiltak.

I markedsføring av smarte kontorbygg er ytelser som bedre innemiljø, økt komfort og trivsel som kan bedre arbeidstakernes produktivitet mer iøynefallende enn byggets miljøprestasjon. Byggets interaksjon og samhandling med bruker muliggjort av sensorer integrert i et nettverk blir forstått som selve essensen i smartbyggkonseptet. Miljøperspektivet er ikke like tydelig markert.

Selv om et kontorbygg med smartteknologi er mer energieffektivt enn et kontorbygg uten bidrar hyppig utskiftning av smartkomponenter over livsløpet til at klimapåvirkningen blir høyere for kontorbygg med smartteknologi.

Mens det i debatten om lavenergibygg hevdes at produksjonsfasen blir like viktig som driftsfasen, vil driftsfasen fortsatt utgjøre en stor andel av klimapåvirkning gjennom livsløpet for kontorbygg med smarthusteknologi.

Smartteknologi bidrar til mer effektiv arealutnyttelse. Hvis denne gevinsten tas ut i et kontorbygg med mindre areal, enn det som ellers ville vært nødvendig, vil klimapåvirkningen bli betraktelig lavere.

Det er særlig redusert utslipp til materialproduksjon som bidrar til denne positive klimaeffekten. Reduksjon av dette utslippet vil ha en større positiv effekt enn fremtidig redusert utslipp til energi.

Energibruk til datasentre representerer en større klimapåvirkning for kontorbygg med smartteknologi enn for kontorbygg uten.

Utslipp fra skybasert server er betydelig lavere enn utslipp fra server plassert i bygget. Utslipp fra server drevet av 100% fornybar energi er betydelig lavere både for skybasert server og for server i bygg enn utslipp fra server drevet av 0% fornybar energi.

7. Veien videre

Denne oppgaven tematiserer spørsmål som det kan være av interesse å arbeide videre med. Resultatene i oppgaven viser at smartbygg ikke uten videre ivaretar et miljøperspektiv. Smartteknologikomponenter representerer i seg selv klimapåvirkning, og vinning i forhold til energieffektivitet kan gå opp i spinning over livsløpet når smartteknologikomponenter må skiftes ut med hyppige mellomrom. At gjenbruks- og gjenvinningspotensialet ikke er tatt ut forsterker dette bildet. På den ene side kan det synes forståelig at det er ønskelig å være mest mulig ajour med den teknologiske utviklingen og av den grunn ville oppgradere smartbygg til et høyere nivå. Nivåinndelingens logikk der grunnnivåene er vel definert og der nye toppnivå kan legges til uten at de grunnleggende elementene må endres av den grunn, legger til rette for dette. På den andre siden representerer vedlikehold og utskifting av disse komponenter klimapåvirkning. Det bør derfor arbeides mer med å realisere gjenbruks- og gjenvinningspotensiale og slik redusere avfallsandelen.

I drøfting av hva et smartbygg er ble det trukket frem at design og arkitektur hos noen bidragsyttere blir sett på som en del av smartbyggkonseptet. I powerhouse Kjørbo i Sandvika fungerer f.eks. trappesjakt som en stor avtrekkskanal der kjølig luft tilføres nede, trekkes oppover mens den gradvis oppvarmes for til sist å trekkes ut på toppen. Resultatet av disse løsningene er kraftig reduksjon i energiforbruket til avtrekksvifter, hvilket viser at dette er et svært energieffektivt alternativ når det gjelder utskifting av luft inn og ut av rom. I denne oppgaven var ikke kontorbygget designet slik at det la optimalt til rette for naturlig klimatisering. Det bør derfor arbeides videre med hvordan arkitektoniske løsninger kan integreres med smartteknologi for å klargjøre hva et helhetlig perspektiv på smartbygg kan innebære.

Når smartteknologibygget ikke uten videre gir miljøgevinst, bør alternativet med naturlig klimatiserte bygg ikke parkeres. Mildere vintre i Norge på grunn av klimaendringer kan bidra til at naturlig klimatiserte kontorbygg bør få større oppmerksomhet. Det må gå an å ha to tanker i hodet på en gang slik at ikke alle energieffektive løsninger automatisk handler om smartteknologi.

Referanser

- Aardal, F. (2017). Fem hovedgevinster med smartbyggteknologi. Tilgjengelig fra: <https://www.atea.no/bloggen/fem-hovedgevinster-med-smartbyggteknologi/>. Hentet: 2. februar 2020.
- Atkin, B. (1988). Progress towards Intelligent Building. I: B. Atkin (ed.). Intelligent Buildings – Applications of IT and Building Automation to High Technology Construction Projects. London: Unicom Seminars limited
- Baumann, H. & Tillmann, A. M. (2004). The hitch hiker's guide to LCA: An orientation in life cycle assessment methodology and application. In: literature, S. (ed.). Lund: Studentlitteratur.
- Bonneau, V., Ramahandry, T., Probst, L., Pedersen B. & Dakkak-Arnoux, L. (2017). Smart Building: Energy efficiency application. Tilgjengelig fra: https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Smart%20building%20-%20energy%20efficiency%20v1.pdf. Hentet 6. januar 2020.
- Borg, A.A. (2016). The Environmental Impact of Ventilation Systems in a Norwegian Office Building from a Life Cycle Perspective. Master of Energy and Environmental Engineering. Norwegian University of Science and Technology
- Buckman, A.H, Mayfield, M., Beck & S.B.M. (2014). What is a Smart Building? – Smart and sustainable built environment. Tilgjengelig fra: <https://doi.org/10.1108/SASBE-01-2014-0003>
- Buyle, M., Braet, J. & Audenaert, A. (2013). Life cycle assessment in the constructional sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26, s. 379-388
- Bygg21, (2018). Bygg- og eiendomssektorens betydning for klimagassutslipp. Tilgjengelig fra: https://www.bygg21.no/contentassets/901dbc37a0c242229f4d8248a12919dc/33019_d elrapport-3b_digitalt.compressed.pdf. Hentet: 27.november 2020
- Byggemiljø, (2007). Byggsektorens klimagassutslipp, revisjon april, 2007. Tilgjengelig fra <http://www.byggemiljo.no/wp-content/uploads/2015/01/Notat-klimagassutslipp-fra-byggsektoren21des06rev190407.pdf>
- Byggfakta (2020). *Smartbygg skal effektivisere driften*. Tilgjengelig fra <https://www.byggfakta.no/smartbygg-skal-effektivisere-driften-165463/nyhet.html>. Hentet 3. mars 2020.
- Calvo, I., (2016). Key Vulnerabilities of Industrial Automation and Control Systems and Actions to Prevent Cyber-Attacks. *International Journal of Online Engineering (iJOE)* 12(1):9 DOI: [10.3991/ijoe.v12i1.4888](https://doi.org/10.3991/ijoe.v12i1.4888)

- Clements-Croome, D. (2013). *Intelligent Buildings: Design, Management and Operation (2nd ed.)*. London: ICE Publishing.
- Dokka, T.H. et al. (2013). A zero emission concept analysis of an office building. Oslo: SINTEF Academic Press
- Direktoratet for byggekvalitet (2017). Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning, kapittel 14, §14-2 Krav til energieffektivitet. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-2/>
Hentet 4. desember 2019
- Gadakari, T., Mushatat, S. og Newman, R. (2014). Intelligent Buildings: Key to Achieving Total Sustainability in the Built Environment. *Journal of Engineering, Project, and Production Management* 4 (1), 2-16.
- Ghaffarianhoseini, A., Berardi, U., AlWaer, H., Chang, S., Halawa, E., Ghaffarianhoseini, A. & Clementes-Croome, D. (2015). What is an intelligent building? Analysis of recent interpretations from an international perspective. *Architectural Science Review, Vol. 59, No. 5, 338-357*. Tilgjengelig fra: <https://doi.org/10.1080/00038628.2015.1079164>
- GLAVA isolasjon (u.å.)a. Bindingsverk med innvendig påføring og 12mm trefiberplate. Tilgjengelig fra: <https://www.glava.no/bygg/losninger/byggkonstruksjoner/yttervegg/bindingsverk-med-innvendig-paforing-og-12-mm-trefiberplate/>. Hentet 4. desember 2019.
- GLAVA isolasjon (u.å.)b. Plate på mark. Tilgjengelig fra: <https://www.glava.no/bygg/losninger/byggkonstruksjoner/gulv/plate-pa-mark/> Hentet 5. desember 2019
- Grini, C., Mathisen, H.M, Sartori, I., Haase, M., Sørensen, H.W.J., Petersen, A., Bryn, I og Wigestad, T. (2009). LECO – Energibruk i fem kontorbygg i Norge. Befaring og rapportering. Prosjektrapport 48 – 2009. SINTEF
- Gore, A. (2006). *An Inconvenient Truth: The Planetary Emergency of Global Warming and What We Can Do About It*. London: Bloomsbury Publishing Plc.
- Gruner, M., Skeie, K.S. og Andresen, I. (2017). Naturlig klimatiserte kontorbygg. Analyse av et «nullkonsept» i norsk klima. Oslo: SINTEF akademisk forlag
- HasleLinje (2017). *1. okt. Moderne bygg – smart hverdag*. Tilgjengelig fra <https://www.haslelinje.no/artikler/moderne-bygg-smart-hverdag/> [Hentet 13. mars 2020]
- Hofmeister, T.B., Kristjansdottir, T., Time, B., Wiberg, A.H. (2015). Life Cycle GHG Emissions from a Wooden Load Bearing Alternative for a ZEB Office Concept, *ZEB Project report 20-2015*, Oslo: SINTEF Academic Press.

- IPCC 2014. Climate Change (2014). Synthesis Rapport. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Team T.C.W., Puchauri, R.K., Meyer, L. & (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland
- Karppinen, (2018). Indoor Positioning: Technologies and Use Cases in Retail Context. Tilgjengelig fra: https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/35535/master_Karppinen_Annukka_2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Hentet: 1. mars 2020.
- Kristjansdottir, T., Mellegård, S., Dokka, T.H., Time, B., Haase, M. og Tønnesen, J. (2013). The first phase of a Zero Emission Concept for an Office Building in Norway.
- Miljødirektoratet (2019). Norske utslipp av klimagasser – klimagassutslipp fra oppvarming av bygg. Tilgjengelig fra: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/klimagassutslipp-fra-oppvarming-av-bygg/>
- Nilvèr, K. (2019). The Carbon Footprint of Servers. Tilgjengelig fra: <https://www.goclimateneutral.org/blog/the-carbon-footprint-of-servers/>
- Norsk vassdrags- og energidirektorat (2015). Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_24.pdf. Hentet: 1.mars 2020
- Randall, T., (2015). The smartest building in the world. Tilgjengelig fra: <https://www.bloomberg.com/features/2015-the-edge-the-worlds-greenest-building/>. Hentet 9. mars 2020
- Resch, E. & Andresen, I. (2018). A Database Tool for Systematic Analysis of Embodied Emissions in Buildings and Neighborhoods. *Buildings*, 8, 106; doi:10.3390/buildings8080106
- Rinholm, H.M. (2018). En sammenlignende LCA av optimale etasjeskille i høye bygg – og den tilknyttede CO₂-premie. Masteroppgave. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
- Rønning A., Lyng K. A. & Vold, M. (2011). Kunnskapsplattform for beregning av klimabelastning fra bygg og byggematerialer. Tilgjengelig fra: https://www.regjeringen.no/contentassets/f4ae160c965744efa45151b240ffe38b/kunnskapsplattform_beregning_klimabelastning_fra_bygg_byggematerialer.pdf
- Sartori, I. & Hestnes, A.G. (2007). Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. *Energy and buildings* 39, s. 249-257.
- Schneider Electric, (2013). Product selection guide SmartStruxure solution. Tilgjengelig fra: http://www.controls-services.com/documents/SmartStruxureSolution_SelectionGuide_RevA1_A4.pdf. Hentet: 17.august 2020.

- Schneider Electric, (2015). Product Environmental Profile SmartX Controller AS-P. Tilgjengelig fra: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Product+environmental&p_File_Name=ENVPEP1510007.pdf&p_Doc_Ref=ENVPEP1510007. Hentet 17. januar 2020.
- Schneider Electric, (2016a). Product Environmental Profile SmartX Controller I/O Module DO-FC-8-H. Tilgjengelig fra: https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=ENVPEP1611005. Hentet: 16. januar 2020.
- Schneider Electric, (2016b). Product Environmental Profile SmartX Controller Power Supply PS-24V. Tilgjengelig fra: https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=ENVPEP1611002. Hentet: 16. januar 2020.
- Schneider Electric, (2016c). Product Environmental Profile SmartX Controller Terminal Base TB-IO-W1. Tilgjengelig fra: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Product+environmental&p_File_Name=ENVPEP1609008EN.pdf&p_Doc_Ref=ENVPEP1609008. Hentet: 18. januar 2020.
- Schneider Electric, (2019a). RP Series Expansion Modules and Multi-sensors. Tilgjengelig fra: <https://ecostruxure-building-help.se.com/bms/topics/show.castle?id=13067&locale=en-US&productversion=3.1>. Hentet: 10. mars 2020.
- Schneider Electric, (2019b). RP-C SmartX IP Controller. Tilgjengelig fra: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Technical+leaflet&p_File_Name=03-30017-01-en_RP-C+Specification+Sheet.pdf&p_Doc_Ref=03-30017. Hentet: 16. januar 2020.
- Schneider Electric, (2019c). 2019 Global Digital Transformation Benefits Report. Tilgjengelig fra: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Customer+success+story&p_File_Name=998-20387771_DTBR.pdf&p_Doc_Ref=998-20387771_DTBR. Hentet 6. februar 2020.
- Sinopoli, J. (2009). *Smart building systems for Architects, owners and builders*. Burlington: Butterworth-Heinemann.
- SINTEF byggforskserien (2013). 524.331, Lydisolering i kontorlokaler. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/2762/lydisolering_i_kontorlokaler. Hentet: 6. desember.
- SINTEF byggforskserien (2014). 470.101, Livsløpsvurdering (LCA) av byggevarer og bygninger. Innføring og begreper. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/205/livsloepsvurdering_lca_av_byggevarer_og_bygninger_innfoering_og_begreper Hentet 12.januar 2020

- SINTEF byggforskserien (2015a). 470.102, Metodiske valg og problemstillinger ved livsløpsvurdering (LCA). Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/4144/metodiske_valg_og_problestillinger_ved_livsloepsvurdering_lca
- SINTEF byggforskserien (2015b). 522.513, Lydisolerende, tunge etasjeskillere. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/340/lydisolerende_tunge_etasjeskillere. Hentet: 6. desember
- SINTEF byggforskserien (2018a). 471.014, U-verdier. Gulv på grunnen og vegger mot terreng. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/1536/u-verdier_gulv_paa_grunnen_og_vegger_mot_terreng Hentet 12.januar 2020
- SINTEF byggforskserien (2018b). 525.207, Kompakte tak. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/387/kompakte_tak Hentet: 5. desember 2019.
- Skullestad, J. L. (2016). Bygging av høyhus i tre som et klimatiltak - En sammenliknende LCA av bæresystemer i tre og betong for bygg med varierende antall etasjer. Masteroppgave. Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet (NTNU).
- Skullestad, J. L., Bohne, R. A. og Lohne, J. (2016). *High-Rise Timber Buildings as a Climate Change Mitigation Measure – A Comparative LCA of Structural System Alternatives. Energy Procedia*, 96, s. 112-123
- Sollie, C., Nordby, A.S., Dahlstrøm, O. og Iversen, M.S. (2016). *Byggematerialer og klima - hvordan påvirker forutsetninger i analysene resultatet?* Presentasjon. Tilgjengelig på: <https://www.ntnu.no/documents/1264930397/1265429912/2+-+sollie.pdf/7c4b196e-f306-40af-bc1d-fa9b0acfe2c3>. Besøkt 19.03.2020.
- StandardNorge (2006a). NS-EN ISO 14040 Miljøstyring – Livsløpsvurdering – Prinsipper og rammeverk.
- StandardNorge (2006b). NS-EN ISO 14044 Miljøstyring – Livsløpsvurdering – Krav og retningslinjer
- StandardNorge (2010). NS-EN 15643-1:2010 Bærekraftige byggverk – Vurdering av bygninger i et bærekraftperspektiv. Del 1: Generelt rammeverk
- StandardNorge (2011). NS-EN 15643-2:2011 Bærekraftige byggverk – Vurdering av bygninger i et bærekraftperspektiv. Del 2: Rammeverk for vurderingen av miljøpåvirkning.
- StandardNorge (2018). NS 3720:2018 Metode for klimagassberegninger for bygninger
- Strømman, A. H. (2010). *Methodological Essentials of Life Cycle Assessment. Course book for the course TEP4223 Life Cycle Assessment. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology*

Tsarchopoulos, P. (2011). IBM Redbooks: Smarter Cities Series. Tilgjengelig fra:
<http://www.urenio.org/2011/06/29/ibm-redbooks-smarter-cities-series/>

Walløe, F. J. (2017). *Hva er et smartbygg, og hva ønskes oppnådd med et smartbygg?*
Masteroppgave. Universitetet i Stavanger. Tilgjengelig fra:
<https://uis.brage.unit.no/uis-xmlui/handle/11250/2455932>

Vedlegg:

Vedlegg A

	Lag					
Tak	Dekke 4	Dekke 4	Dekke 3	Dekke 2	Dekke 1	Grunn
Tekning	Vinyl	Betongheller	Vinyl	Vinyl	Vinyl	Vinyl
Migreringssperre	Trinndempende	Takpapp	Trinndempende	Trinndempende	Trinndempende	Trinndempende
Isolasjon	Hulldekke	Sutak	Hulldekke	Hulldekke	Hulldekke	Betong
Dampspærre	Nedlekting	Lekter	Nedlekting	Nedlekting	Nedlekting	Radonsperre
Hulldekke	Himling	Isolasjon	Himling	Himling	Himling	Isolasjon
		Hulldekke				Grunn

Stål

	HUP 200x200x16	IPE 400	
Lengde	38 * 3,5m	158m	
Lengde søyle tak	70	116	tot lengde IPE
Lengde [m]	133	158	590 m
kg/m	83,8	66,3	tot lengde HUP
Stål [kg]	9553,2	10475,4	469 m
Totalt hele bygget	78419,2		

Vindu

	Kjeller	1. Etasje	2. Etasje	3. Etasje	Kantine	
Dimensjon [bxh]	900x800	900x1600	900x1600	900x1600	1000x2200	
Areal [m2]	0,72	1,44	1,44	1,44	2,1	
Antall	40	78	80	80	10	
Dimensjon [hxb]		2000x1600	2000x1600	2000x1600	1400x2600	
Areal [m2]		3,2	3,2	3,2	3,64	
Antall		4	4	4	16	
Dimensjon [hxb]			2200x1500	2200x1500		
Areal [m2]			3,3	3,3		
Antall			1	1		
Tot. Areal [m2]	28,8	125,12	131,3	131,3	79,24	Sum 495,76 m2

Dører

	Kjeller	1. Etasje	2. Etasje	3. Etasje	Tak	Sum
Dimensjon [bxh]	2100x1000	2100x1000	2100x1000	2100x1000	2100x1000	
Areal [m]	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Antall	25	23	24	26	6	104
Dimensjon [bxh]	2000x2100	2000x2100	2000x2100	2000x2100		
Areal [m]	4,2	4,2	4,2	4,2		4,2
Antall	1	2	1	2		6
Dimensjon [bxh]		2100x2100				
Areal [m]		4,4				4,4
Antall		2				2
Tot. Areal [m2]		218,4 m2 innedører				

Fasade

		Sørfasade	Nordfasade	Østfasade	Vestfasade
Stående kledning	Høyde [m]	11,4	11,4	11,4	
	Lengde [m]	60,3	60,3	6,3	
Stukkatur østblokk	Høyde [m]	11,4	11,4	11,4	
	Lengde [m]	8,2	8,2	5,3	
Stukkatur vestblokk	Høyde [m]	11,4	11,4	11,4	11,4
	Lengde [m]	10,5	10,5	1,2	12,2
Stukkatur tak	Høyde [m]	3,6	3,6	3,6	3,3
	Lengde [m]	56	56	8,6	8,6

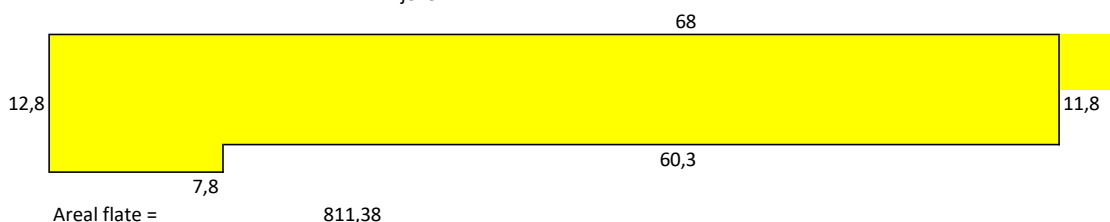
Areal kledning	1446,66
Areal vindu	355,52
Areal dør	14,5
Kledning u vindu	1076,64 m2

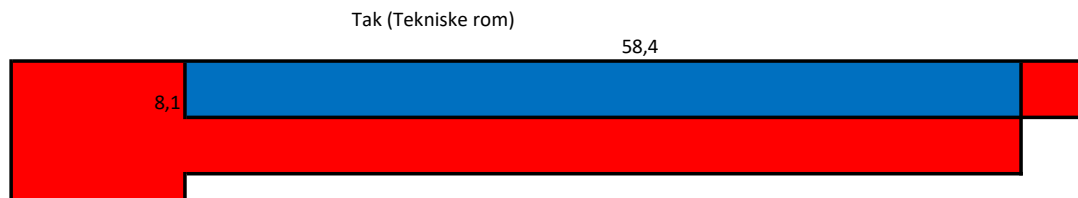
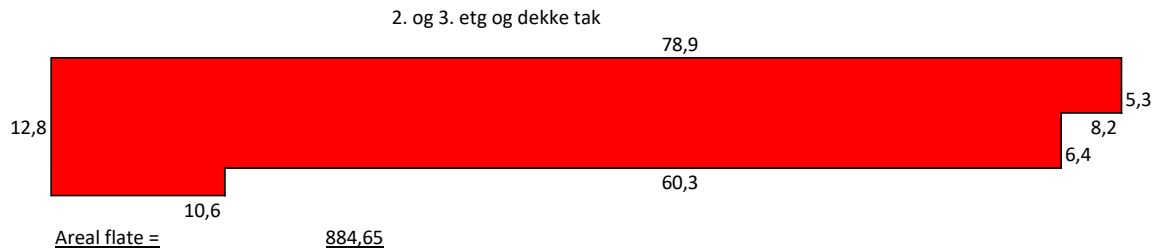
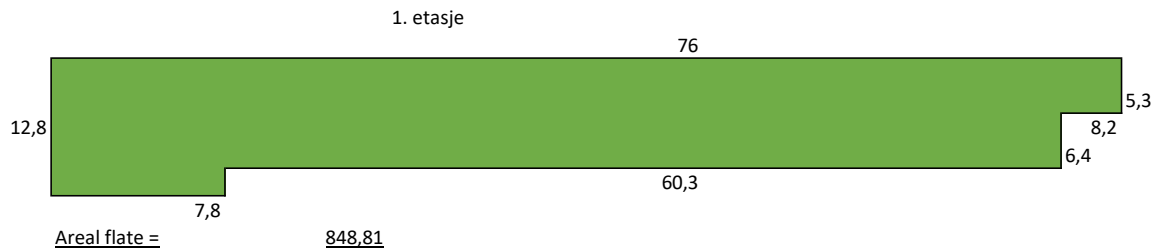
Areal murpuss	
Østblokk	247,38
Vestblokk	392,16
Tak	462,54
Areal puss	1102,08

Trestender ytterveg: **2061,08 m2**

Areal Vindu	117,64
Puss u vindu	984,44 m2

Kjeller





Areal blått = 473,04
 Areal rødt = 411,61

Totalt BRA = 3902,53

Huldekke totalt= 3975,8

Kjeller
 Løpometer vegg 68*2 + 12,8*2 161,6 m
 Høyde 3,5 m
 Totalt areal 573 m2
 Vindusareal kjeller 28,8
 Areal vegg u vindu 544,2 m2
 Areal vegg o bakke 100 m2

Innervegg 1. etasje - 3. etasje

	Lengde	Høyde
Glassvegg	50	2,7
Glassvegg	10,8	2,7
Glassvegg	28,5	2,7
Stålstender	46,4	2,7
Stålstender	49,6	2,7
Stålstender	54,5	2,7

Areal glass 723,33 m2
 Areal stål 1219,05 m2

Innervegg tak

	Lengde	Høyde
Stålstender	46,7	2,7
Stålstender	26,4	2,7
Areal stål	197,37	m2

Innervegg kjeller

	Lengde	Høyde
Glassvegg	43,7	2,7
Stålstender	43,3	2,7
Stålstender	28	2,7
Stålstender	51	2,7
Stålstender	59,3	2,7
Stålstender	11,7	2,7
Total lengde stål	193,3	

Areal glass 117,99 m2
 Areal stål 521,91 m2

Totalt areal glass 841,32 m2
Totalt areal stål 1938,33 m2
Sum 2779,65 m2

Senorer

		Sensor per rom/sone	
Cellekontor	45	9	405
Åpentkontor	93	1	93
Åpentkontor	30	8	240
Grupperom stor	3	10	30
Grupperom lite	4	9	36
Felles opphold	5	15	75
Møterom	4	9	36
Teknisk rom	10	9	90
Trening/Garderobe	4	9	36
Lager	6	9	54
Annet (kontaktsensor, nivåsensor)			1000
			2095

I/O-moduoler

Romtype		Per rom/sone	Totalt per rom
Cellekontor	45	4	180
Åpentkontor*	30	6	180
Grupperom stor	3	4	12
Grupperom lite	4	4	16
Felles opphold	3	4	12
Møterom	4	4	16
Teknisk rom	10	4	40
Trening/Garderobe	4	4	16
Lager	6	4	24
Totalt	109		496

* Kontorlandskapet deles inn i totalt 30 soner

RP-C controller

Romtype		1-2 per rom
Cellekontor	45	45
Åpentkontor*	30	60
Grupperom stor	3	3
Grupperom lite	4	4
Felles opphold	3	3
Møterom	4	4
Teknisk rom	10	10
Trening/Garderobe	4	4
Lager	6	6
Totalt		139

* Kontorlandskapet deles inn i totalt 30 soner

AS-P controller 1 per etasje (2stk i kontoretasjer)
Totalt 8

Vannforbruk

Område	m3/m2	areal = 3976	
Forbruk, byggeplas	3,05	3976	12126,8
Forbruk, menneske	0,17	3976	675,92
Totalt			12802,72 m3

Fordeling strømforbruk			
		Tek17 = 115 kWh/år ->	448500 kWh
Område	Prosentandel desimal		
Inneklima	0,48	215280	
Elektrisk forbruk	0,31	139035	
Lys	0,16	71760	
Annet	0,05	22425	
	1	233220	
Fordeling inneklima			
Fjernvarme	0,26	215280	55542
Luftvarme	0,19	215280	41764
Luftkjøling	0,29	215280	62431
Vifter	0,26	215280	55542

Fordeling str.forbruk		smart gir et 24% redusert energibruk	
		115 kWh/år * 0,76 ->	340860 kWh
Område	Prosentandel desimal		
Inneklima	0,48	163613	
Elektrisk forbruk	0,31	105667	
Lys	0,16	54538	
Annet	0,05	17043	
		177247	
Fordeling inneklima		Smart	Tek17 smart
Fjernvarme	0,26	163613	42212
Luftvarme	0,19	163613	31741
Luftkjøling	0,29	163613	47448
Vifter	0,26	163613	42212
	1		163613

Vedlegg B

Entity users	Project name	Input	Enhet	Utslipp kg CO2e	Spørsmål	Levetid	Byttesyklus
Ole Oppedal	Masteroppgrave	2 - Smart Life-cycle assessment, EN-15978					
A5	Gjennomsnittlig byggeplass påvirkning - Norden (per BTA)	3900	m2	72349,91	Byggeplass-scenarier		
				72349,91	Byggeplass-scenarier		
B6	Elektrisitet, Norge, 3-års gjennomsnitt 2013-2015	31741	kWh	44582,07	Elektrisitetsforbruk		
B6	Elektrisitet, Norge, 3-års gjennomsnitt 2013-2015	42212	kWh	59289,2	Elektrisitetsforbruk		
B6	Elektrisitet, Norge, 3-års gjennomsnitt 2013-2015	47448	kWh	66643,47	Elektrisitetsforbruk		
B6	Elektrisitet, Norge, 3-års gjennomsnitt 2013-2015	177247	kWh	248953,68	Elektrisitetsforbruk		
				419468,42	Elektrisitetsforbruk		
A1-A3	Air handling unit, with heat recovery through plate heat exchanger	3,58	unit	36425,36	Bygningssystemer og -installasjoner		30
A1-A3	SmartX Controller AS-B	8	unit	206,1	Bygningssystemer og -installasjoner		10
A1-A3	WiFi access point, French average	100	unit	3120	Bygningssystemer og -installasjoner		10
A1-A3	Keypad reader	104	unit	1655,37	Bygningssystemer og -installasjoner		15
A1-A3	SmartX Controller AS-B	139	unit	3581,06	Bygningssystemer og -installasjoner		10
A1-A3	SmartX Controller Power Supply PS-24V	139	unit	787,64	Bygningssystemer og -installasjoner		10
A1-A3	Ventilation ducting	464,1	m	37127,46	Bygningssystemer og -installasjoner		60
A1-A3	Motion sensor, French average	465	unit	3106,2	Bygningssystemer og -installasjoner		10
A1-A3	SmartX Controller I/O Module DO-FC-8-H	496	unit	1920,71	Bygningssystemer og -installasjoner		10
A1-A3	SmartX Controller Terminal Base	720	unit	1327,32	Bygningssystemer og -installasjoner		10
A1-A3	Technical sensor (gas, water...)	1630	unit	31192,93	Bygningssystemer og -installasjoner		10
A1-A3	Drinking water supply piping network, per m2 GIFA (office)	3900	m2	524,24	Bygningssystemer og -installasjoner		60
A1-A3	Electricity distribution system, cabling and central	3900	m2	78855,74	Bygningssystemer og -installasjoner		30
A1-A3	Heat distribution system (water heat distribution) for office	3900	m2	42167,75	Bygningssystemer og -installasjoner		60
A1-A3	Sewage water drainage piping network, per m2 GIFA (office)	3900	m2	1015,86	Bygningssystemer og -installasjoner		60
A1-A3	Communication cable, ethernet	8000	m	1528,48	Bygningssystemer og -installasjoner		10
A4	Air handling unit, with heat recovery through plate heat exchanger	3,58	unit	25,01	Bygningssystemer og -installasjoner		30
A4	SmartX Controller AS-B	8	unit	0,026	Bygningssystemer og -installasjoner		10
A4	WiFi access point, French average	100	unit	1,05	Bygningssystemer og -installasjoner		10
A4	Keypad reader	104	unit	0,069	Bygningssystemer og -installasjoner		15
A4	SmartX Controller AS-B	139	unit	0,45	Bygningssystemer og -installasjoner		10
A4	SmartX Controller Power Supply PS-24V	139	unit	0,16	Bygningssystemer og -installasjoner		10
A4	Ventilation ducting	464,1	m	28,41	Bygningssystemer og -installasjoner		60
A4	Motion sensor, French average	465	unit	0,52	Bygningssystemer og -installasjoner		10
A4	SmartX Controller I/O Module DO-FC-8-H	496	unit	0,65	Bygningssystemer og -installasjoner		10
A4	SmartX Controller Terminal Base	720	unit	0,59	Bygningssystemer og -installasjoner		10
A4	Technical sensor (gas, water...)	1630	unit	1,36	Bygningssystemer og -installasjoner		10
A4	Drinking water supply piping network, per m2 GIFA (office)	3900	m2	1,66	Bygningssystemer og -installasjoner		60
A4	Electricity distribution system, cabling and central	3900	m2	85,95	Bygningssystemer og -installasjoner		30
A4	Heat distribution system (water heat distribution) for office	3900	m2	97,67	Bygningssystemer og -installasjoner		60
A4	Sewage water drainage piping network, per m2 GIFA (office)	3900	m2	3,47	Bygningssystemer og -installasjoner		60
A4	Communication cable, ethernet	8000	m	2,83	Bygningssystemer og -installasjoner		10
B1-B5	Air handling unit, with heat recovery through plate heat exchanger	3,58	unit	1020,36	Bygningssystemer og -installasjoner		30
B1-B5	SmartX Controller AS-B	8	unit	830,52	Bygningssystemer og -installasjoner		10
B1-B5	WiFi access point, French average	100	unit	15600	Bygningssystemer og -installasjoner		10
B1-B5	Keypad reader	104	unit	4966,1	Bygningssystemer og -installasjoner		15
B1-B5	SmartX Controller AS-B	139	unit	17905,29	Bygningssystemer og -installasjoner		10
B1-B5	SmartX Controller Power Supply PS-24V	139	unit	3938,22	Bygningssystemer og -installasjoner		10
B1-B5	Motion sensor, French average	465	unit	15531	Bygningssystemer og -installasjoner		10
B1-B5	SmartX Controller I/O Module DO-FC-8-H	496	unit	9603,55	Bygningssystemer og -installasjoner		10
B1-B5	SmartX Controller Terminal Base	720	unit	6636,6	Bygningssystemer og -installasjoner		10
B1-B5	Technical sensor (gas, water...)	1630	unit	155964,66	Bygningssystemer og -installasjoner		10
B1-B5	Electricity distribution system, cabling and central	3900	m2	78855,74	Bygningssystemer og -installasjoner		30
B1-B5	Communication cable, ethernet	8000	m	7642,4	Bygningssystemer og -installasjoner		10
C1-C4	Air handling unit, with heat recovery through plate heat exchanger	3,58	unit	3,63	Bygningssystemer og -installasjoner		30
C1-C4	SmartX Controller AS-B	8	unit	11,72	Bygningssystemer og -installasjoner		10
C1-C4	WiFi access point, French average	100	unit	0,52	Bygningssystemer og -installasjoner		10
C1-C4	Keypad reader	104	unit	0,034	Bygningssystemer og -installasjoner		15
C1-C4	SmartX Controller AS-B	139	unit	203,63	Bygningssystemer og -installasjoner		10
C1-C4	SmartX Controller Power Supply PS-24V	139	unit	74,08	Bygningssystemer og -installasjoner		10
C1-C4	Ventilation ducting	464,1	m	4,12	Bygningssystemer og -installasjoner		60
C1-C4	Motion sensor, French average	465	unit	0,25	Bygningssystemer og -installasjoner		10
C1-C4	SmartX Controller I/O Module DO-FC-8-H	496	unit	294,41	Bygningssystemer og -installasjoner		10
C1-C4	SmartX Controller Terminal Base	720	unit	269,16	Bygningssystemer og -installasjoner		10
C1-C4	Technical sensor (gas, water...)	1630	unit	3,31	Bygningssystemer og -installasjoner		10
C1-C4	Drinking water supply piping network, per m2 GIFA (office)	3900	m2	753,59	Bygningssystemer og -installasjoner		60
C1-C4	Electricity distribution system, cabling and central	3900	m2	119,69	Bygningssystemer og -installasjoner		30
C1-C4	Heat distribution system (water heat distribution)	3900	m2	136,01	Bygningssystemer og -installasjoner		60
C1-C4	Sewage water drainage piping network, per m2 GIFA (office)	3900	m2	1576,13	Bygningssystemer og -installasjoner		60
C1-C4	Communication cable, ethernet	8000	m	1,39	Bygningssystemer og -installasjoner		10
D	Air handling unit, with heat recovery through plate heat exchanger	3,58	unit	-6600	Bygningssystemer og -installasjoner		30
D	SmartX Controller AS-B	8	unit	-7,2	Bygningssystemer og -installasjoner		10
D	SmartX Controller AS-B	139	unit	-130	Bygningssystemer og -installasjoner		10
D	SmartX Controller Power Supply PS-24V	139	unit	-46	Bygningssystemer og -installasjoner		10
D	Ventilation ducting	464,1	m	-8300	Bygningssystemer og -installasjoner		60
D	SmartX Controller I/O Module DO-FC-8-H	496	unit	-180	Bygningssystemer og -installasjoner		10
D	SmartX Controller Terminal Base	720	unit	-170	Bygningssystemer og -installasjoner		10
D	Drinking water supply piping network, per m2 GIFA (office)	3900	m2	-460	Bygningssystemer og -installasjoner		60
D	Electricity distribution system, cabling and central	3900	m2	-16000	Bygningssystemer og -installasjoner		30
D	Heat distribution system (water heat distribution)	3900	m2	-19000	Bygningssystemer og -installasjoner		60
D	Sewage water drainage piping network, per m2 GIFA (office)	3900	m2	-970	Bygningssystemer og -installasjoner		60
				602343,22	Bygningssystemer og -installasjoner		
A1-A3	Stål varmvalset, I, H, U, L, T, og vide flater	78419	kg	113707,55	Søyler og bærende vertikale strukturer		60
A4	Stål varmvalset, I, H, U, L, T, og vide flater	78419	kg	180,17	Søyler og bærende vertikale strukturer		60
C1-C4	Stål varmvalset, I, H, U, L, T, og vide flater	78419	kg	607,75	Søyler og bærende vertikale strukturer		60
D	Stål varmvalset, I, H, U, L, T, og vide flater	78419	kg	-100000	Søyler og bærende vertikale strukturer		60
				114495,47	Søyler og bærende vertikale strukturer		
A5	Springvann, rent	12558	m3	3767,4	Vannforbruk		
				3767,4	Vannforbruk		
A1-A3	Høvellast, bartre	88,56	m2	56,32	Kledning og belegg		60
A1-A3	Cement-composite façade panel, grey, coated,	984	m2	2888,13	Kledning og belegg		60
A1-A3	Ekstern trebekledning, malt	1076	m2	5400,44	Kledning og belegg		60
A4	Høvellast, bartre	88,56	m2	1,03	Kledning og belegg		60
A4	Cement-composite façade panel, grey, coated,	984	m2	46,8	Kledning og belegg		60
A4	Ekstern trebekledning, malt	1076	m2	23,42	Kledning og belegg		60
C1-C4	Høvellast, bartre	88,56	m2	56,03	Kledning og belegg		60
C1-C4	Cement-composite façade panel, grey, coated,	984	m2	887,52	Kledning og belegg		60
C1-C4	Ekstern trebekledning, malt	1076	m2	1279,48	Kledning og belegg		60
D	Høvellast, bartre	88,56	m2	-340	Kledning og belegg		60
D	Ekstern trebekledning, malt	1076	m2	-6000	Kledning og belegg		60
				10639,16	Kledning og belegg		

B6	Distriktsoppvarming, Oslo, Norge	42212 kWh	34970,63	Bruk av fjernvarme	
			34970,63	Bruk av fjernvarme	
A1-A3	Høvellast, bartre	9 m2	5,72	Utvendige vegger og fasade	60
A1-A3	Cement-composite façade panel, grey, coated,	100 m2	293,51	Utvendige vegger og fasade	60
A1-A3	Høvellast, bartre	164,88 m2	419,45	Utvendige vegger og fasade	60
A1-A3	Høvellast, bartre	239,08 m2	2508,86	Utvendige vegger og fasade	60
A1-A3	Fuktmembran for kjellervegger, betonggulv og grønne tak, PP	311 m2	332,77	Utvendige vegger og fasade	60
A1-A3	Prefabrikerte veggelementer av betong (fast, uisolert), B30	544 m2	38433,09	Utvendige vegger og fasade	60
A1-A3	EPS-isolasjon	544 m2	9651,61	Utvendige vegger og fasade	60
A1-A3	Bindingsverksystem av tre for yttervegger per kvm	544 m2	66,43	Utvendige vegger og fasade	60
A1-A3	Gipsplate	544 m2	1142,4	Utvendige vegger og fasade	60
A1-A3	Isolasjon, glassull/mineralull,	544 m2	549,84	Utvendige vegger og fasade	60
A1-A3	Bindingsverksystem av tre for innervegger per kvm	1076 m2	146,79	Utvendige vegger og fasade	60
A1-A3	Glassull isolasjonsplater, generisk	1821,9 m2	1619,44	Utvendige vegger og fasade	60
A1-A3	Glassull isolasjonsplater, generisk	1896,1 m2	421,35	Utvendige vegger og fasade	60
A1-A3	Gipsplater, vanlig, generisk	2061 m2	5948,43	Utvendige vegger og fasade	60
A1-A3	Dampspærre i plast	2061 m2	875,93	Utvendige vegger og fasade	60
A1-A3	Utvendig-X typ EH2 (GU-X)	2061 m2	3514,53	Utvendige vegger og fasade	60
A4	Høvellast, bartre	9 m2	0,1	Utvendige vegger og fasade	60
A4	Cement-composite façade panel, grey, coated,	100 m2	4,76	Utvendige vegger og fasade	60
A4	Høvellast, bartre	164,88 m2	7,64	Utvendige vegger og fasade	60
A4	Høvellast, bartre	239,08 m2	45,68	Utvendige vegger og fasade	60
A4	Fuktmembran for kjellervegger, betonggulv og grønne tak, PP	311 m2	0,36	Utvendige vegger og fasade	60
A4	Prefabrikerte veggelementer av betong (fast, uisolert), B30	544 m2	899,91	Utvendige vegger og fasade	60
A4	EPS-isolasjon	544 m2	5	Utvendige vegger og fasade	60
A4	Bindingsverksystem av tre for yttervegger per kvm	544 m2	1,21	Utvendige vegger og fasade	60
A4	Gipsplate	544 m2	11,25	Utvendige vegger og fasade	60
A4	Isolasjon, glassull/mineralull,	544 m2	0,99	Utvendige vegger og fasade	60
A4	Bindingsverksystem av tre for innervegger per kvm	1076 m2	2,67	Utvendige vegger og fasade	60
A4	Glassull isolasjonsplater, generisk	1821,9 m2	20,93	Utvendige vegger og fasade	60
A4	Glassull isolasjonsplater, generisk	1896,1 m2	5,45	Utvendige vegger og fasade	60
A4	Gipsplater, vanlig, generisk	2061 m2	52,82	Utvendige vegger og fasade	60
A4	Dampspærre i plast	2061 m2	0,88	Utvendige vegger og fasade	60
A4	Utvendig-X typ EH2 (GU-X)	2061 m2	32,3	Utvendige vegger og fasade	60
C1-C4	Høvellast, bartre	9 m2	5,69	Utvendige vegger og fasade	60
C1-C4	Cement-composite façade panel, grey, coated,	100 m2	90,2	Utvendige vegger og fasade	60
C1-C4	Høvellast, bartre	164,88 m2	417,24	Utvendige vegger og fasade	60
C1-C4	Høvellast, bartre	239,08 m2	2495,62	Utvendige vegger og fasade	60
C1-C4	Fuktmembran for kjellervegger, betonggulv og grønne tak, PP	311 m2	6,78	Utvendige vegger og fasade	60
C1-C4	Prefabrikerte veggelementer av betong (fast, uisolert), B30	544 m2	4343,81	Utvendige vegger og fasade	60
C1-C4	EPS-isolasjon	544 m2	29,46	Utvendige vegger og fasade	60
C1-C4	Bindingsverksystem av tre for yttervegger per kvm	544 m2	1,44	Utvendige vegger og fasade	60
C1-C4	Gipsplate	544 m2	34,92	Utvendige vegger og fasade	60
C1-C4	Isolasjon, glassull/mineralull,	544 m2	18,77	Utvendige vegger og fasade	60
C1-C4	Bindingsverksystem av tre for innervegger per kvm	1076 m2	3,17	Utvendige vegger og fasade	60
C1-C4	Glassull isolasjonsplater, generisk	1821,9 m2	396,93	Utvendige vegger og fasade	60
C1-C4	Glassull isolasjonsplater, generisk	1896,1 m2	103,27	Utvendige vegger og fasade	60
C1-C4	Gipsplater, vanlig, generisk	2061 m2	1001,7	Utvendige vegger og fasade	60
C1-C4	Dampspærre i plast	2061 m2	16,61	Utvendige vegger og fasade	60
C1-C4	Utvendig-X typ EH2 (GU-X)	2061 m2	190,3	Utvendige vegger og fasade	60
D	Høvellast, bartre	9 m2	-34	Utvendige vegger og fasade	60
D	Høvellast, bartre	164,88 m2	-2500	Utvendige vegger og fasade	60
D	Høvellast, bartre	239,08 m2	-15000	Utvendige vegger og fasade	60
D	Prefabrikerte veggelementer av betong (fast, uisolert), B30	544 m2	-9400	Utvendige vegger og fasade	60
D	Bindingsverksystem av tre for yttervegger per kvm	544 m2	-310	Utvendige vegger og fasade	60
D	Bindingsverksystem av tre for innervegger per kvm	1076 m2	-680	Utvendige vegger og fasade	60
			76178,01	Utvendige vegger og fasade	
A1-A3	Bergkrossprodukter	426 m3	1271,61	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer	60
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (lavkarbonklass B)	849 m2	31277,45	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer	60
A1-A3	EPS-isolasjon	849 m2	9037,74	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer	60
A1-A3	Radon- og fuktmembran for byggeplass, PP	849 m2	2292,3	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer	60
A1-A3	Armert stål	5200 kg	3789,43	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer	60
A4	Bergkrossprodukter	426 m3	2804,74	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer	60
A4	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (lavkarbonklass B)	849 m2	3178,66	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer	60
A4	EPS-isolasjon	849 m2	4,68	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer	60
A4	Radon- og fuktmembran for byggeplass, PP	849 m2	2,15	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer	60
A4	Armert stål	5200 kg	11,95	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer	60
C1-C4	Bergkrossprodukter	426 m3	0	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer	60
C1-C4	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (lavkarbonklass B)	849 m2	4519,48	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer	60
C1-C4	EPS-isolasjon	849 m2	27,58	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer	60
C1-C4	Radon- og fuktmembran for byggeplass, PP	849 m2	40,69	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer	60
C1-C4	Armert stål	5200 kg	14,19	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer	60
D	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (lavkarbonklass B)	849 m2	-9700	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer	60
D	Armert stål	5200 kg	-27	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer	60
			58272,65	Fundament, grunn, kjeller og støttemurer	
A1-A3	Avrettingsmasse, Proplan Basic	39,8 m3	10889,28	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A1-A3	Dampspærre i plast	412 m2	175,1	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A1-A3	Hulldykker, generisk, B30	412 m2	16695,91	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A1-A3	EPS-isolasjon	412 m2	8771,61	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A1-A3	Takmembran	412 m2	2002,32	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A1-A3	Protan SE 1.6 Roofing Membrane	412 m2	1783,96	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A1-A3	Dampspærre i plast	473 m2	201,03	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A1-A3	Hulldykker, generisk, B30	473 m2	19167,88	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A1-A3	EPS-isolasjon	473 m2	6713,55	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A1-A3	Takmembran	473 m2	2298,78	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A1-A3	Vinyl flooring	903 m2	10374,72	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	20
A1-A3	Tufted carpet tiles	1500 m2	12000	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	20
A1-A3	Dampspærre i plast	1500 m2	637,5	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A1-A3	Massive wooden flooring/parquet	1500 m2	10231,31	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A1-A3	Himlingsplater i mineralull	3900 m2	21338,6	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A1-A3	Acoustic fiberglass underlayment	3900 m2	8913,98	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A1-A3	HULLEKKELEMENT TYPE HD	3976,8 m2	178697,35	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A4	Avrettingsmasse, Proplan Basic	39,8 m3	146,31	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A4	Dampspærre i plast	412 m2	0,18	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A4	Hulldykker, generisk, B30	412 m2	351,19	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A4	EPS-isolasjon	412 m2	4,54	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A4	Takmembran	412 m2	1,78	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A4	Protan SE 1.6 Roofing Membrane	412 m2	1,75	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A4	Dampspærre i plast	473 m2	0,2	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A4	Hulldykker, generisk, B30	473 m2	403,18	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A4	EPS-isolasjon	473 m2	3,48	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60

A4	Takmembran	473 m2	2,04	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A4	Vinyl flooring	903 m2	6,48	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	20
A4	Tufted carpet tiles	1500 m2	7,93	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	20
A4	Dampspærre i plast	1500 m2	0,64	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A4	Massive wooden flooring/parquet	1500 m2	43,46	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A4	Himlingsplater i mineralull	3900 m2	27,06	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A4	Acoustic fiberglass underlayment	3900 m2	6,57	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
A4	HULLEKKEELEMENT TYPE HD	3976,8 m2	3581,67	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
B1-B5	Vinyl flooring	903 m2	20749,44	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	20, 40
B1-B5	Tufted carpet tiles	1500 m2	24000	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	20, 40
C1-C4	Avrettingsmasse, Proplan Basic	39,8 m3	173,8	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
C1-C4	Dampspærre i plast	412 m2	3,32	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
C1-C4	Huldekker, generisk, B30	412 m2	1695,16	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
C1-C4	EPS-isolasjon	412 m2	26,77	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
C1-C4	Takmembran	412 m2	10,49	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
C1-C4	Protan SE 1.6 Roofing Membrane	412 m2	10,32	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
C1-C4	Dampspærre i plast	473 m2	3,81	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
C1-C4	Huldekker, generisk, B30	473 m2	1946,14	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
C1-C4	EPS-isolasjon	473 m2	20,49	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
C1-C4	Takmembran	473 m2	12,04	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
C1-C4	Vinyl flooring	903 m2	7127,64	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	20
C1-C4	Tufted carpet tiles	1500 m2	8714,2	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	20
C1-C4	Dampspærre i plast	1500 m2	12,09	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
C1-C4	Massive wooden flooring/parquet	1500 m2	51,63	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
C1-C4	Himlingsplater i mineralull	3900 m2	159,44	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
C1-C4	Acoustic fiberglass underlayment	3900 m2	7,8	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
C1-C4	HULLEKKEELEMENT TYPE HD	3976,8 m2	4254,57	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
D	Avrettingsmasse, Proplan Basic	39,8 m3	-12000	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
D	Huldekker, generisk, B30	412 m2	-3800	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
D	Huldekker, generisk, B30	473 m2	-4400	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
D	Vinyl flooring	903 m2	-4400	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	20
D	Tufted carpet tiles	1500 m2	-3200	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	20
D	Massive wooden flooring/parquet	1500 m2	-14000	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
D	HULLEKKEELEMENT TYPE HD	3976,8 m2	-41000	Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak	60
384460,47 Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak					
A1-A3	Water-borne interior paints	519,36 kg	171,88	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer	10
A1-A3	Glassveggssystem	841,5 m2	47359,62	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer	60
A1-A3	Gipsplater, vanlig, generisk	1938,5 m2	5594,87	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer	60
A1-A3	Gipsplater, vanlig, generisk	1938,5 m2	5594,87	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer	60
A1-A3	Glassull isolasjonsplater, generisk	1938,5 m2	603,07	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer	60
A1-A3	Strukturelle stålprofiler, generisk	3973,9 kg	8250,99	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer	60
A4	Water-borne interior paints	519,36 kg	2,89	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer	10
A4	Glassveggssystem	841,5 m2	45,82	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer	60
A4	Gipsplater, vanlig, generisk	1938,5 m2	49,68	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer	60
A4	Gipsplater, vanlig, generisk	1938,5 m2	49,68	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer	60
A4	Glassull isolasjonsplater, generisk	1938,5 m2	7,79	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer	60
A4	Strukturelle stålprofiler, generisk	3973,9 kg	9,13	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer	60
B1-B5	Water-borne interior paints	519,36 kg	859,41	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer	10, 20,30,40,50
C1-C4	Water-borne interior paints	519,36 kg	7,03	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer	10
C1-C4	Glassveggssystem	841,5 m2	269,98	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer	60
C1-C4	Gipsplater, vanlig, generisk	1938,5 m2	942,16	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer	60
C1-C4	Gipsplater, vanlig, generisk	1938,5 m2	942,16	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer	60
C1-C4	Glassull isolasjonsplater, generisk	1938,5 m2	147,81	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer	60
C1-C4	Strukturelle stålprofiler, generisk	3973,9 kg	30,8	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer	60
D	Strukturelle stålprofiler, generisk	3973,9 kg	-2400	Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer	60
70939,66 Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer					
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (lavkarbonklass C)	16,4 m3	3786,58	Andre strukturer og materialer	60
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (lavkarbonklass C)	47,26 m3	10913,69	Andre strukturer og materialer	60
A1-A3	Forsterkning stål (armering), generisk	1639,9 kg	1022,1	Andre strukturer og materialer	60
A1-A3	Forsterkning stål (armering), generisk	4726,5 kg	2945,91	Andre strukturer og materialer	60
A4	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (lavkarbonklass C)	16,4 m3	306,99	Andre strukturer og materialer	60
A4	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (lavkarbonklass C)	47,26 m3	884,8	Andre strukturer og materialer	60
A4	Forsterkning stål (armering), generisk	1639,9 kg	3,77	Andre strukturer og materialer	60
A4	Forsterkning stål (armering), generisk	4726,5 kg	10,86	Andre strukturer og materialer	60
C1-C4	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (lavkarbonklass C)	16,4 m3	436,48	Andre strukturer og materialer	60
C1-C4	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (lavkarbonklass C)	47,26 m3	1258,03	Andre strukturer og materialer	60
C1-C4	Forsterkning stål (armering), generisk	1639,9 kg	12,71	Andre strukturer og materialer	60
C1-C4	Forsterkning stål (armering), generisk	4726,5 kg	36,63	Andre strukturer og materialer	60
D	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (lavkarbonklass C)	16,4 m3	-960	Andre strukturer og materialer	60
D	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (lavkarbonklass C)	47,26 m3	-2800	Andre strukturer og materialer	60
D	Forsterkning stål (armering), generisk	1639,9 kg	-240	Andre strukturer og materialer	60
D	Forsterkning stål (armering), generisk	4726,5 kg	-700	Andre strukturer og materialer	60
21618,55 Andre strukturer og materialer					
B7	Springvann, rent	500 m3	9000	Total water consumption	
9000 Total water consumption					
A1-A3	Aluminium door system, per unit	1 unit	380,6	Vinduer og dører	30
A1-A3	Automatic revolving door	1 unit	5790	Vinduer og dører	30
A1-A3	Aluminum entrance door frame	9 m2	781,36	Vinduer og dører	30
A1-A3	Interior glass door	220 m2	8970,37	Vinduer og dører	30
A1-A3	Pianglass, enkeltglasert, generisk	496 m2	5194,18	Vinduer og dører	30
A1-A3	Pianglass, enkeltglasert, generisk	496 m2	5194,18	Vinduer og dører	30
A1-A3	Pianglass, enkeltglasert, generisk	496 m2	5194,18	Vinduer og dører	30
A1-A3	Composite sun screen	496 m2	1433,44	Vinduer og dører	30
A1-A3	Aluminum profile for windows and doors	2083,2 kg	10059,05	Vinduer og dører	30
A4	Aluminium door system, per unit	1 unit	0,23	Vinduer og dører	30
A4	Automatic revolving door	1 unit	2,04	Vinduer og dører	30
A4	Aluminum entrance door frame	9 m2	0,26	Vinduer og dører	30
A4	Interior glass door	220 m2	10,61	Vinduer og dører	30
A4	Pianglass, enkeltglasert, generisk	496 m2	13,68	Vinduer og dører	30
A4	Pianglass, enkeltglasert, generisk	496 m2	13,68	Vinduer og dører	30
A4	Pianglass, enkeltglasert, generisk	496 m2	13,68	Vinduer og dører	30
A4	Composite sun screen	496 m2	0,48	Vinduer og dører	30
A4	Aluminum profile for windows and doors	2083,2 kg	4,79	Vinduer og dører	30
B1-B5	Aluminium door system, per unit	1 unit	380,6	Vinduer og dører	30
B1-B5	Automatic revolving door	1 unit	5790	Vinduer og dører	30
B1-B5	Aluminum entrance door frame	9 m2	781,36	Vinduer og dører	30
B1-B5	Interior glass door	220 m2	8970,37	Vinduer og dører	30
B1-B5	Pianglass, enkeltglasert, generisk	496 m2	5194,18	Vinduer og dører	30
B1-B5	Pianglass, enkeltglasert, generisk	496 m2	5194,18	Vinduer og dører	30
B1-B5	Pianglass, enkeltglasert, generisk	496 m2	5194,18	Vinduer og dører	30
B1-B5	Composite sun screen	496 m2	1433,44	Vinduer og dører	30

B1-B5	Aluminum profile for windows and doors	2083,2 kg	10059,05	Vinduer og dører	30	30
C1-C4	Aluminium door system, per unit	1 unit	0,27	Vinduer og dører	30	
C1-C4	Automatic revolving door	1 unit	12,01	Vinduer og dører	30	
C1-C4	Aluminum entrance door frame	9 m2	0,87	Vinduer og dører	30	
C1-C4	Interior glass door	220 m2	62,54	Vinduer og dører	30	
C1-C4	Planglass, enkeltglasert, generisk	496 m2	259,34	Vinduer og dører	30	
C1-C4	Planglass, enkeltglasert, generisk	496 m2	259,34	Vinduer og dører	30	
C1-C4	Planglass, enkeltglasert, generisk	496 m2	259,34	Vinduer og dører	30	
C1-C4	Composite sun screen	496 m2	526,19	Vinduer og dører	30	
C1-C4	Aluminum profile for windows and doors	2083,2 kg	5,69	Vinduer og dører	30	
D	Aluminum entrance door frame	9 m2	-67	Vinduer og dører	30	
D	Composite sun screen	496 m2	-320	Vinduer og dører	30	
			87439,75	Vinduer og dører		

Hoved > Masteroppgave > Kontor u smartteknologi > Life-cycle assessment, EN-15978

Kontor u smartteknologi - Life-cycle assessment, EN-15978 Grunnleggende prosjektinformasjon

Resultatrapport: Kontor u smartteknologi

Prosjekt	Masteroppgave - Kontor u smartteknologi
Bruker	Ole Ragnar Oppedal - 2020.03.16
Verktøy	Life-cycle assessment, EN-15978
Detaljer	Building life-cycle assessment according to the European Standard EN 15978. This LCA software covers life cycle stages from cradle to grave with separate reporting to product stage, construction process, use stage, operational energy, and end of life. This LCA software and related datasets are compliant with ISO 14040/14044 or EN 15804. It is compliant with the Active House Specification requirements.


Prosjektinformasjon og oppgaver

Land	Norge
Bruttoareal (BTA), m ² (NS 3720)	3900
Type (NS 3547)	31 - Kontorbygning
Fulgte sertifiseringer	NS 3720

Kommersiell bruk er forbudt One Click LCA Student (International) Business license + Carbon Designer, UTDANNING, Ole Ragnar Oppedal 16.03.2020 01:23

 1 876 Tonn CO₂e

 8 kg CO₂e / m² / år

 93 788 € Sosiale kostnader for karbon

Carbon Heroes Benchmark

Bundet karbon-referanse

Vugge til grav (A1-A4, B4-B5, C1-C4)	kg CO ₂ e/m ²
(< 220) A	304
(220-316) B	
(316-412) C	
(412-508) D	
(508-604) E	
(604-700) F	
(> 700) G	

CH Q1 2019 Nordic - office 
 Last ned som bildefil



Life-cycle assessment results

Sektor	Klimagassutslipp kg CO2e	Acidification kg SO2e	Eutrophication kg PO4e	Ozone depletion potential kg CFC11e	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Total use of primary energy ex. raw materials MJ	
A1-A3 Byggematerialer	8,84E5	3,26E3	8,71E2	4,47E-2	1,21E3	1,4E7	Detaljer
A4 Transport til byggeplassen	1,36E4	4,87E1	1,05E1	2,56E-3	1,21E0	3,3E5	Detaljer
A5 Byggeplass	7,61E4	1,43E2	3,88E1	1,24E-2	1,21E1	1,9E6	Detaljer
B1-B5 Maintenance and material replacement	2,46E5	1,38E3	5,42E2	1,15E-2	1,97E2	4,34E6	Detaljer
B6 Energibruk i drift	5,98E5	1,92E3	4,55E2	7,71E-2	1,09E2	1,1E8	Detaljer
B7 Water use	9E3	4,87E1	2,47E1	9,83E-4	2,19E0	1,9E5	Detaljer
C1-C4 Livsløpets slutt	4,93E4	1,12E2	2,69E1	3,17E-3	7,62E0	5,5E5	Detaljer
D Utover livsløp (ikke inkludert i totalen)	-2,91E5	-6,62E2	-1,52E2	-4,44E-3	-1,24E2	-2,63E6	Detaljer
Total	1,88E6	6,91E3	1,97E3	1,52E-1	1,54E3	1,31E8	
Resultater per nevner							
User hours 12.0	1,56E5	5,76E2	1,64E2	1,27E-2	1,28E2	1,09E7	
Antall brukere 150.0	1,25E4	4,61E1	1,31E1	1,02E-3	1,03E1	8,74E5	
User days 230.0	8,16E3	3E1	8,56E0	6,63E-4	6,7E0	5,7E5	
Brutto internt gulvareal (IPMS / RICS), m2 3900.0 m2	4,81E2	1,77E0	5,05E-1	3,91E-5	3,95E-1	3,36E4	

Fullstendighet og plausibilitetskontroll












LCA Checker totalvurdering: A

LCA Checker sjekker effektene fra bundet karbonutslipp plausibilitet. Disse resultatene gjenspeiler plausibilitet for 12.0 m2 prosjekt av type nybygging, helbygging med rammetype ikke bestemt/ikke sikker med omfang bestående av fundament og sub-strukturer, stenderverk og kledning, innervegger og interiørmaterialer, tjenester. For å redigere disse parametrene, åpne LCA Parameters-inndata. Resultatet er ment som en indikasjon på plausibiliteten; og unntak kan forekomme.

No.	Check description	Project value	Threshold value	Typical value	Unit	Type	Validert ?
Validerte sjekker							
1	Foundation mass credible	271.061	greater than 100		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
2	Structure mass credible	673.511	greater than 150		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
3	Finishes mass credible	55.394	greater than 10		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
4	Services mass credible	11.158	greater than 2		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
5	Embodied carbon credible	304.31	150 - 1000		kg CO2e/m2	✓	<input type="checkbox"/>
6	Project mass credible	1029.109	300 - 3500		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
7	Ready mix and reinforcement ratio	2.064	1 - 7		%	✓	<input type="checkbox"/>
8	Replacements share credible	27.678	10 - 100		%	✓	<input type="checkbox"/>
9	Too few materials to be credible	57	greater than 20		nr.	✓	<input type="checkbox"/>
10	Too dominant single material	20.301	less than 50		%	✓	<input type="checkbox"/>
11	Insulation mass credible	10.876	1 - 21		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
12	Gypsum board and plaster mass credible (no cement)	38.171	0.0 - 80		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
13	Glass and openings mass credible	11.159	2 - 25		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>

No.	Check description	Project value	Threshold value	Typical value	Unit	Type	Validert ?
14	Vertical materials mass	161.42	50 - 700		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
15	Horizontal materials mass	512.09	100 - 1300		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
16	Gypsum board mass credible	21.843	3 - 40		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
17	Glass mass credible	4.578	1 - 13		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
18	Brick mass credible	0.0	0.0 - 100		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
19	Mortar mass credible	10	0.4 - 50		kg/m2	⚠	<input type="checkbox"/>
20	Roofing bitumen mass credible	10	0.5 - 4		kg/m2	⚠	<input type="checkbox"/>

Mest medvirkende materialer (Klimagassutslipp)

No.	Ressurs	Påvirkning fra start til slutt (A1-A3)	Vugge til port (A1-A3)	Bærekraftige alternativer
1.	HULLDEKKEELEMENT TYPE HD  ?	179 tonn CO ₂ e	20.2 %	Vis bærekraftige alternativer
2.	Stål varmvalset, I, H, U, L, T, og vide flater  ?	114 tonn CO ₂ e	12.9 %	Vis bærekraftige alternativer
3.	Electricity distribution system, cabling and central, for all building types ?	79 tonn CO ₂ e	8.9 %	Vis bærekraftige alternativer
4.	Glassveggssystem  ?	47 tonn CO ₂ e	5.4 %	Vis bærekraftige alternativer
5.	EPS-isolasjon ?	45 tonn CO ₂ e	5.1 %	Vis bærekraftige alternativer
6.	Heat distribution system (water heat distribution) for office and care buildings ?	42 tonn CO ₂ e	4.8 %	Vis bærekraftige alternativer
7.	Prefabrikerte veggelementer av betong (fast, uisolert), generisk, B30  ?	38 tonn CO ₂ e	4.3 %	Vis bærekraftige alternativer
8.	Ventilation ducting ?	37 tonn CO ₂ e	4.2 %	Vis bærekraftige alternativer
9.	Hulldykker, generisk, B30  ?	36 tonn CO ₂ e	4.1 %	Vis bærekraftige alternativer
10.	Air handling unit, with heat recovery through plate heat exchanger ?	36 tonn CO ₂ e	4.1 %	Vis bærekraftige alternativer
11.	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass B)  ?	31 tonn CO ₂ e	3.5 %	Vis bærekraftige alternativer
12.	Himlingsplater i mineralull  ?	21 tonn CO ₂ e	2.4 %	Vis bærekraftige alternativer
13.	Gipsplater, vanlig, generisk ?	17 tonn CO ₂ e	1.9 %	Vis bærekraftige alternativer
14.	Planglass, enkeltglasert, generisk ?	16 tonn CO ₂ e	1.8 %	Vis bærekraftige alternativer
15.	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C)  ?	15 tonn CO ₂ e	1.7 %	Vis bærekraftige alternativer
16.	Tufted carpet tiles  ?	12 tonn CO ₂ e	1.4 %	Vis bærekraftige alternativer
	 Avrettingsmasse, Proplan Basic  ?	11 tonn CO ₂ e	1.2 %	Vis bærekraftige alternativer

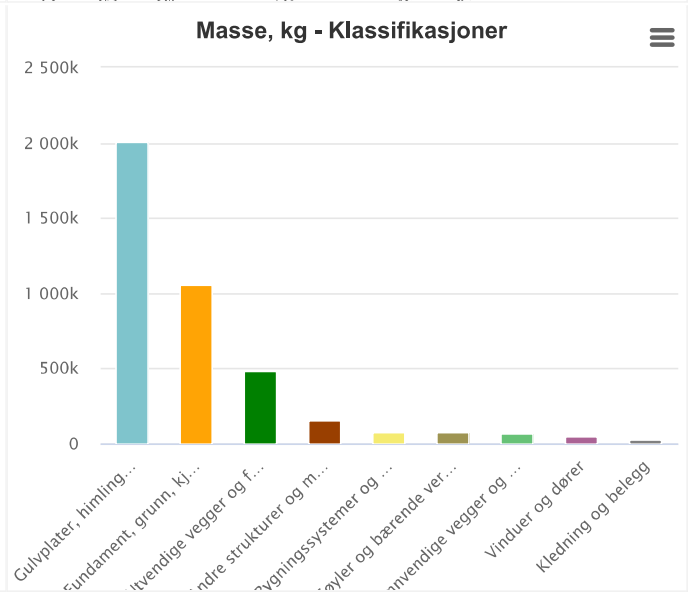
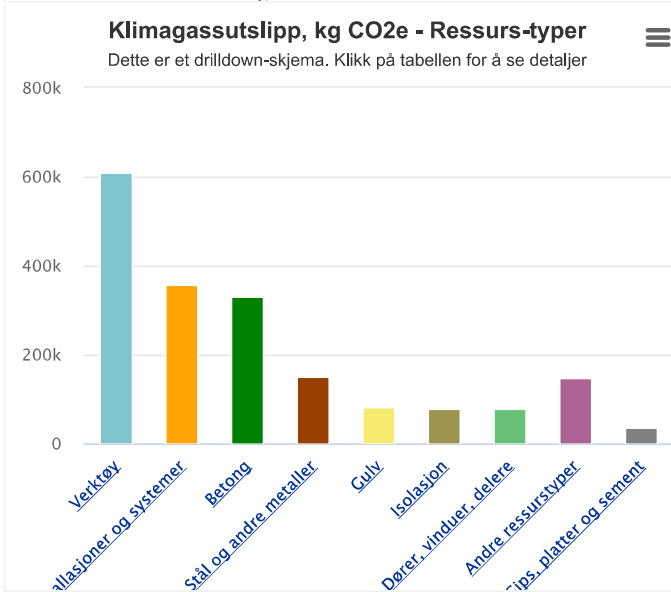
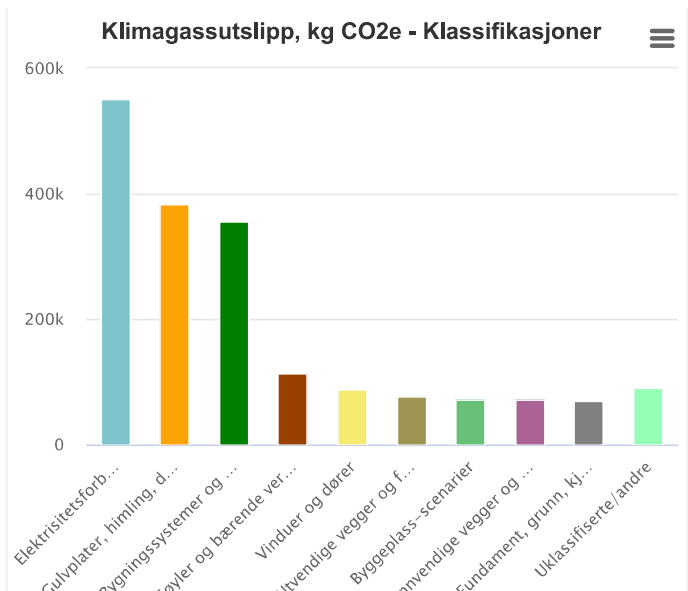
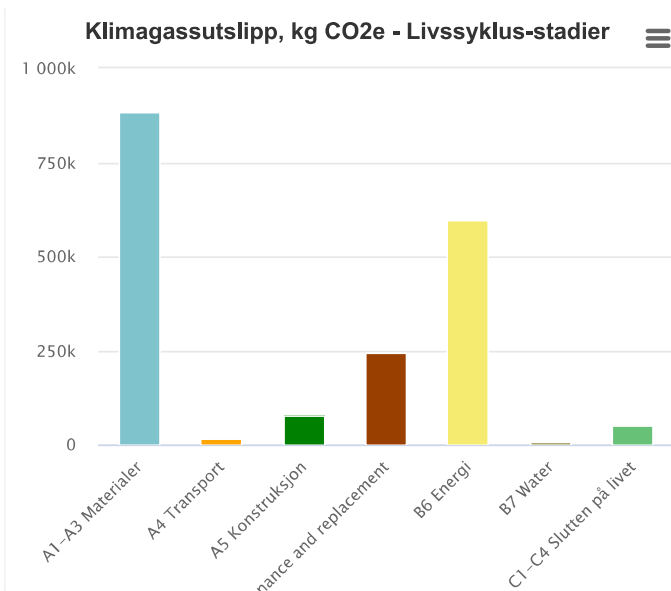
No.	Ressurs	Påvirkning fra start til slutt (A1-A3)	Vugge til port (A1-A3)	Bærekraftige alternativer
18.	Vinyl flooring ?	10 tonn CO ₂ e	1.2 %	Vis bærekraftige alternativer
19.	Massive wooden flooring/parquet 🌳 ?	10 tonn CO ₂ e	1.2 %	Vis bærekraftige alternativer
20.	Aluminum profile for windows and doors ?	10 tonn CO ₂ e	1.1 %	Vis bærekraftige alternativer
21.	Acoustic fiberglass underlayment 🗑️ ?	8,9 tonn CO ₂ e	1.0 %	Vis bærekraftige alternativer
22.	Interior glass door 🌿 ?	9 tonn CO ₂ e	1.0 %	Vis bærekraftige alternativer
23.	Strukturelle stålprofiler, generisk 🌿 ?	8,3 tonn CO ₂ e	0.9 %	Vis bærekraftige alternativer
24.	Automatic revolving door ?	5,8 tonn CO ₂ e	0.7 %	Vis bærekraftige alternativer
25.	Ekstern trebekledning, malt 🌳 ?	5,4 tonn CO ₂ e	0.6 %	Vis bærekraftige alternativer

Grafer

Oversikt over livssyklusen til Klimagassutslipp

Kake Linje **Kolumn** Treemap





Vis datatabell: Klimagassutslipp - Livssyklus-stadier Klimagassutslipp - Klassifikasjoner Klimagassutslipp - Ressurs-typer Masse - Klassifikasjoner

Klimagassutslipp - Livssyklus-stadier

Enhet	Verdi	Enhet	Prosent %
A1-A3 Materialer	883 684,74	kg CO2e	47.11 %
A4 Transport	13 623,72	kg CO2e	0.73 %
A5 Konstruksjon	76 117,31	kg CO2e	4.06 %
B1-B5 Maintenance and replacement	246 055,06	kg CO2e	13.12 %
B6 Energi	597 944,77	kg CO2e	31.88 %
B7 Water	9 000	kg CO2e	0.48 %
C1-C4 Slutten på livet	49 329,01	kg CO2e	2.63 %

Klimagassutslipp - Klassifikasjoner

Enhet	Verdi	Enhet	Prosent %
Elektrisitetsforbruk	551 930,88	kg CO2e	29.42 %
Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	384 677,69	kg CO2e	20.51 %
Bygningssystemer og -installasjoner (3, 4, 5, 6)	356 400,6	kg CO2e	19.0 %



Enhet	Verdi	Enhet	Prosent %
Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	114 495,47	kg CO2e	6.1 %
Vinduer og dører	87 439,75	kg CO2e	4.66 %
Utvendige vegger og fasade (23)	77 324,98	kg CO2e	4.12 %
Byggeplass-scenarier	72 349,91	kg CO2e	3.86 %
Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	70 939,66	kg CO2e	3.78 %
Fundament, grunn, kjeller og støttemurer (20, 21)	69 156,66	kg CO2e	3.69 %
Uklassifiserte/andre	91 039,01	kg CO2e	4.85 %

Klimagassutslipp - Ressurs-typer

Enhet	Verdi	Enhet	Prosent %
Verktøy	610 712,17	kg CO2e	32.56 %
Installasjoner og systemer	356 400,6	kg CO2e	19.0 %
Betong	331 242,93	kg CO2e	17.66 %
Stål og andre metaller	150 762,51	kg CO2e	8.04 %
Gulv	82 980,41	kg CO2e	4.42 %
Isolasjon	80 256,18	kg CO2e	4.28 %
Dører, vinduer, delere	79 608,92	kg CO2e	4.24 %
Andre ressurstyper	147 479,44	kg CO2e	7.86 %
Gips, platter og sement	36 311,45	kg CO2e	1.94 %

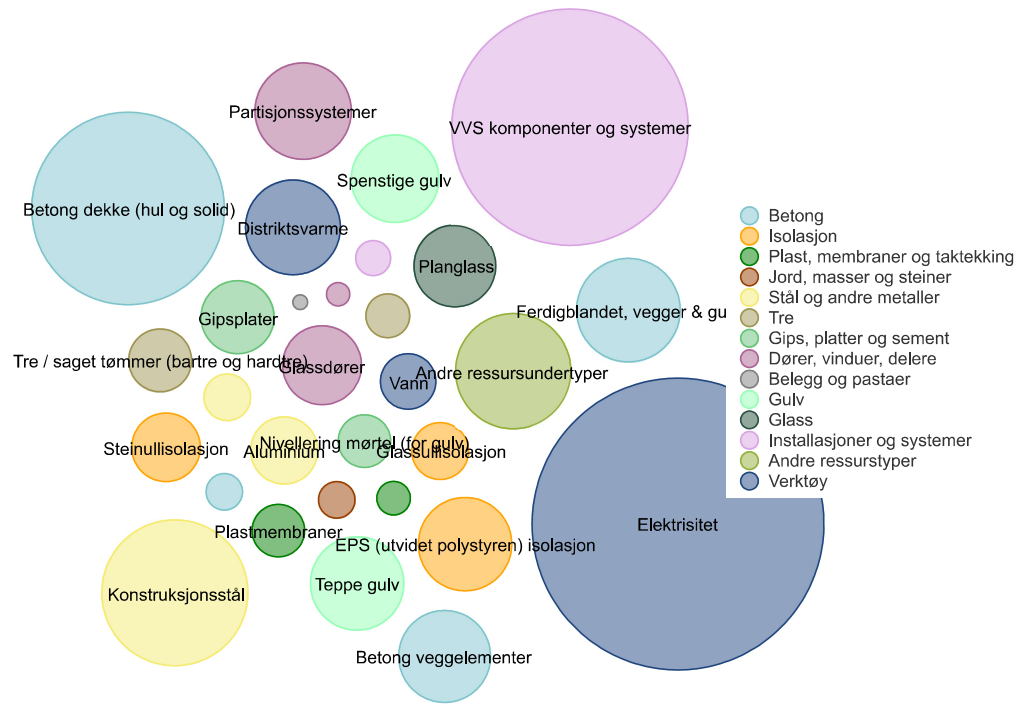
Masse - Klassifikasjoner

Enhet	Verdi	Enhet	Prosent %
Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	2 003 424,44	kg	49.92 %
Fundament, grunn, kjeller og støttemurer (20, 21)	1 057 136,62	kg	26.34 %
Utvendige vegger og fasade (23)	480 044,91	kg	11.96 %
Andre strukturer og materialer (27, 28, 29)	159 159,75	kg	3.97 %
Bygningssystemer og -installasjoner (3, 4, 5, 6)	81 003,75	kg	2.02 %
Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	78 419	kg	1.95 %
Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	71 594,05	kg	1.78 %
Vinduer og dører	51 735,22	kg	1.29 %
Kledning og belegg	31 008,2	kg	0.77 %



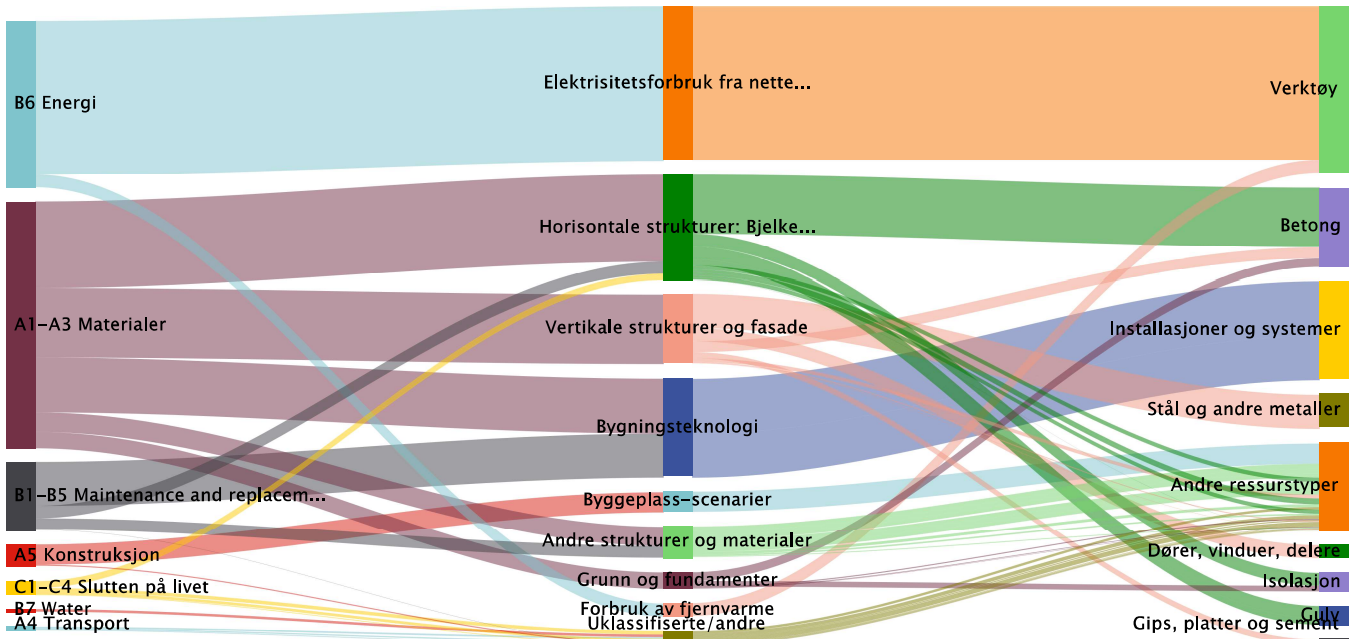
Boblediagram, total livssykluspåvirkning etter ressurstype og undertype, Klimagassutslipp

Hold musen over legendene eller boblene i diagrammet for å vise påvirkningene. Boblenes minste- og største størrelser er begrenset for lesbarhet



Konfigurer diagrammet ditt

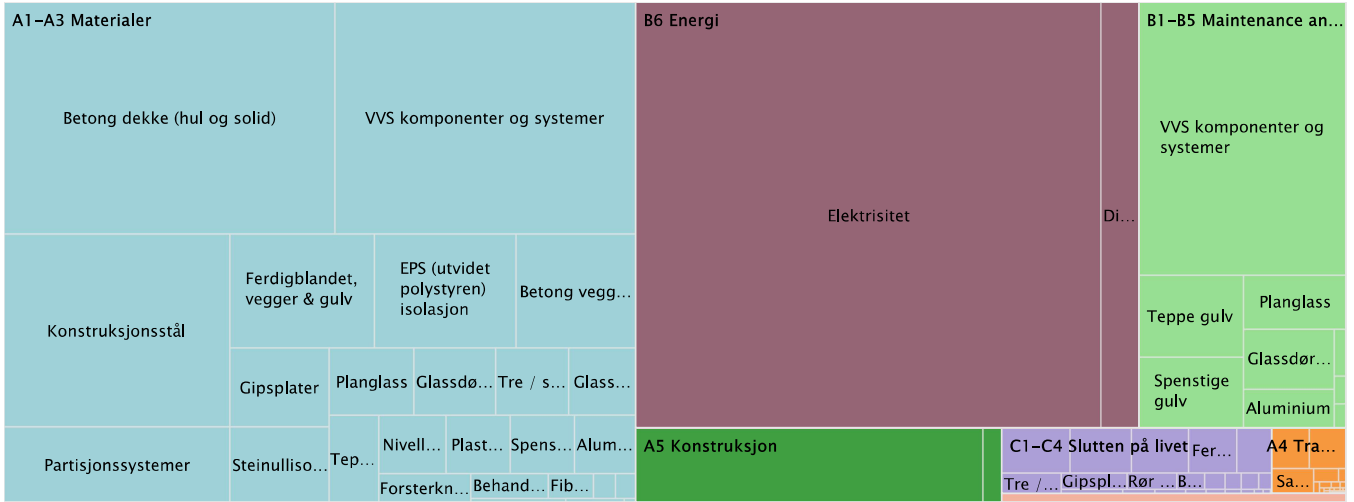
Sankey-diagram, Klimagassutslipp



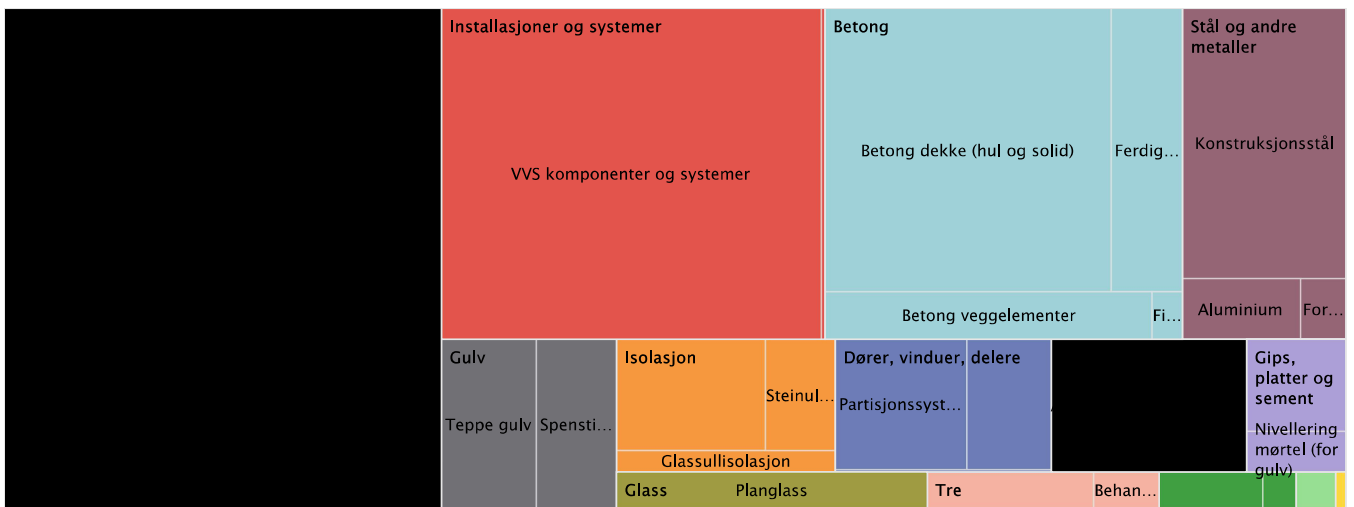
Treemap, Klimagassutslipp



Life cycle stage – subtype

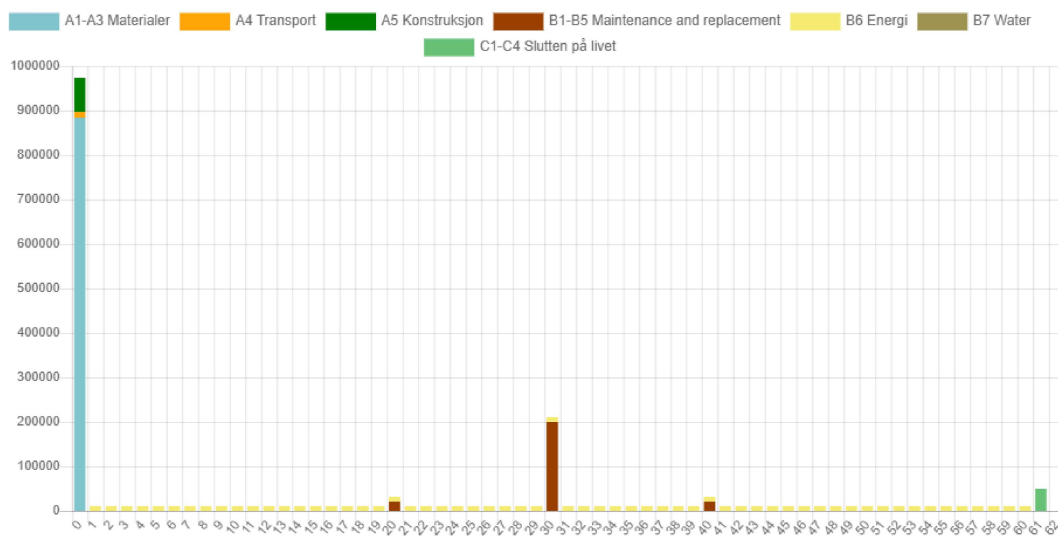


Resource type – subtype (over whole life-cycle)



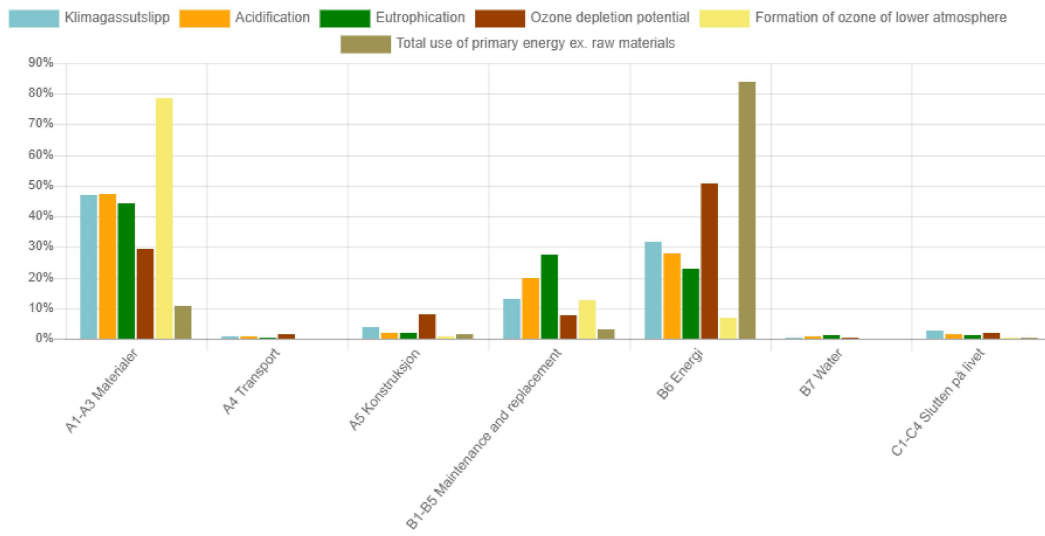
Visualisering av de årlige effektene

Klikk på en kategori i legenden for å skjule/vise [Last ned som bildefil](#)



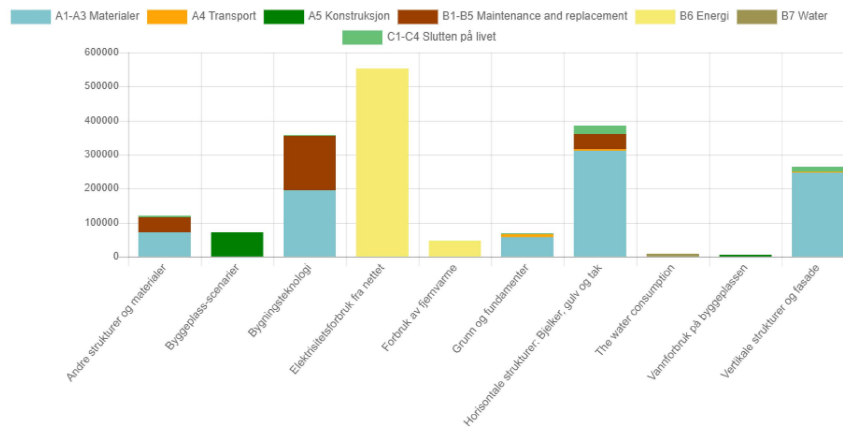
Resultatfordeling fordelt etter livssyklusstadium

Klikk på en kategori i legenden for å skjule/vis [Last ned som bildefil](#)



Klimagassutslipp (GWP) Detaljoversikt

Klikk på en kategori i legenden for å skjule/vis [Last ned som bildefil](#)



[+ Vis detaljert oversikt for alle kategorier](#)

Datakilder



Hoved > Masteroppgave > Smartkontor > Life-cycle assessment, EN-15978

Smartkontor - Life-cycle assessment, EN-15978 Grunnleggende prosjektinformasjon

Resultatrapport: Smartkontor

Prosjekt	Masteroppgave - Smartkontor
Bruker	Ole Ragnar Oppedal - 2020.03.16
Verktøy	Life-cycle assessment, EN-15978
Detaljer	Building life-cycle assessment according to the European Standard EN 15978. This LCA software covers life cycle stages from cradle to grave with separate reporting to product stage, construction process, use stage, operational energy, and end of life. This LCA software and related datasets are compliant with ISO 14040/14044 or EN 15804. It is compliant with the Active House Specification requirements.

Prosjektinformasjon og oppgaver

Land	Norge
Bruttoareal (BTA), m ² (NS 3720)	3900
Type (NS 3547)	31 - Kontorbygning
Fulgte sertifiseringer	NS 3720

Kommersiell bruk er forbudt One Click LCA Student (International) Business license + Carbon Designer, UTDANNING, Ole Ragnar Oppedal 16.03.2020 01:26

 1 978 Tonn CO₂e

 8 kg CO₂e / m² / år

 98 910 € Sosiale kostnader for karbon

Carbon Heroes Benchmark

Bundet karbon-referanse

Vugge til grav (A1-A4, B4-B5, C1-C4)	kg CO ₂ e/m ²
(< 220) A	368
(220-316) B	
(316-412) C	
(412-508) D	
(508-604) E	
(604-700) F	
(> 700) G	

CH Q1 2019 Nordic - office 
 Last ned som bildefil



Life-cycle assessment results

Sektor	Klimagassutslipp kg CO2e	Acidification kg SO2e	Eutrophication kg PO4e	Ozone depletion potential kg CFC11e	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Total use of primary energy ex. raw materials MJ	
A1-A3 Byggematerialer	9,32E5	3,51E3	1,06E3	5,04E-2	1,23E3	1,43E7	Detaljer
A4 Transport til byggeplassen	1,36E4	4,87E1	1,05E1	2,56E-3	1,21E0	3,31E5	Detaljer
A5 Byggeplass	7,61E4	1,43E2	3,88E1	1,24E-2	1,21E1	1,9E6	Detaljer
B1-B5 Maintenance and material replacement	4,43E5	2,48E3	1,48E3	3,77E-2	2,84E2	5,14E6	Detaljer
B6 Energibruk i drift	4,54E5	1,46E3	3,46E2	5,86E-2	8,3E1	8,35E7	Detaljer
B7 Water use	9E3	4,87E1	2,47E1	9,83E-4	2,19E0	1,9E5	Detaljer
C1-C4 Livsløpets slutt	5,02E4	1,12E2	2,69E1	3,17E-3	7,63E0	5,51E5	Detaljer
D Utover livsløp (ikke inkludert i totalen)	-2,91E5	-6,62E2	-1,52E2	-4,44E-3	-1,25E2	-2,64E6	Detaljer
Total	1,98E6	7,81E3	2,99E3	1,66E-1	1,62E3	1,06E8	
Resultater per nevner							
Brutto internt gulvareal (IPMS / RICS), m2 3900.0 m2	5,07E2	2E0	7,66E-1	4,25E-5	4,16E-1	2,71E4	
User hours 12.0	1,65E5	6,51E2	2,49E2	1,38E-2	1,35E2	8,82E6	
Antall brukere 150.0	1,32E4	5,2E1	1,99E1	1,11E-3	1,08E1	7,06E5	
User days 230.0	8,6E3	3,39E1	1,3E1	7,21E-4	7,06E0	4,6E5	

Fullstendighet og plausibilitetskontroll











LCA Checker totalvurdering: A



LCA Checker sjekker effektene fra bundet karbonutslipps plausibilitet. Disse resultatene gjenspeiler plausibilitet for 3900.0 m2 prosjekt av type nybygging, helbygging med rammetype ikke bestemt/ikke sikker med omfang bestående av fundament og sub-strukturer, stenderverk og kledning, innervegger og interiørmaterialer, tjenester. For å redigere disse parametrene, åpne LCA Parameters-inndata. Resultatet er ment som en indikasjon på plausibiliteten; og unntak kan forekomme.

No.	Check description	Project value	Threshold value	Typical value	Unit	Type	Validert ?
Validerte sjekker							
1	Foundation mass credible	271.061	greater than 100		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
2	Structure mass credible	673.511	greater than 150		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
3	Finishes mass credible	55.394	greater than 10		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
4	Services mass credible	11.513	greater than 2		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
5	Embodied carbon credible	367.605	150 - 1000		kg CO2e/m2	✓	<input type="checkbox"/>
6	Project mass credible	1025.319	300 - 3500		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
7	Ready mix and reinforcement ratio	2.064	1 - 7		%	✓	<input type="checkbox"/>
8	Replacements share credible	47.509	10 - 100		%	✓	<input type="checkbox"/>
9	Too few materials to be credible	66	greater than 20		nr.	✓	<input type="checkbox"/>
10	Too dominant single material	19.243	less than 50		%	✓	<input type="checkbox"/>
11	Insulation mass credible	10.876	1 - 21		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
12	Gypsum board and plaster mass credible (no cement)	38.171	0.0 - 80		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
13	Glass and openings mass credible	11.159	2 - 25		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>

No.	Check description	Project value	Threshold value	Typical value	Unit	Type	Validert ?
14	Vertical materials mass	161.42	50 - 700		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
15	Horizontal materials mass	512.09	100 - 1300		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
16	Gypsum board mass credible	21.843	3 - 40		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
17	Glass mass credible	4.578	1 - 13		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
18	Brick mass credible	0.0	0.0 - 100		kg/m2	✓	<input type="checkbox"/>
19	Mortar mass credible	10	0.4 - 50		kg/m2	⚠	<input type="checkbox"/>
20	Roofing bitumen mass credible	10	0.5 - 4		kg/m2	⚠	<input type="checkbox"/>

Mest medvirkende materialer (Klimagassutslipp)

No.	Ressurs	Påvirkning fra start til slutt (A1-A3)	Vugge til port (A1-A3)	Bærekraftige alternativer
1.	HULLDEKKEELEMENT TYPE HD  ?	179 tonn CO ₂ e	19.2 %	Vis bærekraftige alternativer
2.	Stål varmvalset, I, H, U, L, T, og vide flater  ?	114 tonn CO ₂ e	12.2 %	Vis bærekraftige alternativer
3.	Electricity distribution system, cabling and central, for all building types ?	79 tonn CO ₂ e	8.5 %	Vis bærekraftige alternativer
4.	Glassveggsystem  ?	47 tonn CO ₂ e	5.1 %	Vis bærekraftige alternativer
5.	EPS-isolasjon ?	45 tonn CO ₂ e	4.9 %	Vis bærekraftige alternativer
6.	Heat distribution system (water heat distribution) for office and care buildings ?	42 tonn CO ₂ e	4.5 %	Vis bærekraftige alternativer
7.	Prefabrikerte veggelementer av betong (fast, uisolert), generisk, B30  ?	38 tonn CO ₂ e	4.1 %	Vis bærekraftige alternativer
8.	Ventilation ducting ?	37 tonn CO ₂ e	4.0 %	Vis bærekraftige alternativer
9.	Air handling unit, with heat recovery through plate heat exchanger ?	36 tonn CO ₂ e	3.9 %	Vis bærekraftige alternativer
10.	Hulldykker, generisk, B30  ?	36 tonn CO ₂ e	3.8 %	Vis bærekraftige alternativer
11.	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass B)  ?	31 tonn CO ₂ e	3.4 %	Vis bærekraftige alternativer
12.	Technical sensor (gas, water...) ?	31 tonn CO ₂ e	3.3 %	Vis bærekraftige alternativer
13.	Himlingsplater i mineralull  ?	21 tonn CO ₂ e	2.3 %	Vis bærekraftige alternativer
14.	Gipsplater, vanlig, generisk ?	17 tonn CO ₂ e	1.8 %	Vis bærekraftige alternativer
15.	Planglass, enkeltglasert, generisk ?	16 tonn CO ₂ e	1.7 %	Vis bærekraftige alternativer
16.	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C)  ?	15 tonn CO ₂ e	1.6 %	Vis bærekraftige alternativer
	 Tufted carpet tiles  ?	12 tonn CO ₂ e	1.3 %	Vis bærekraftige alternativer

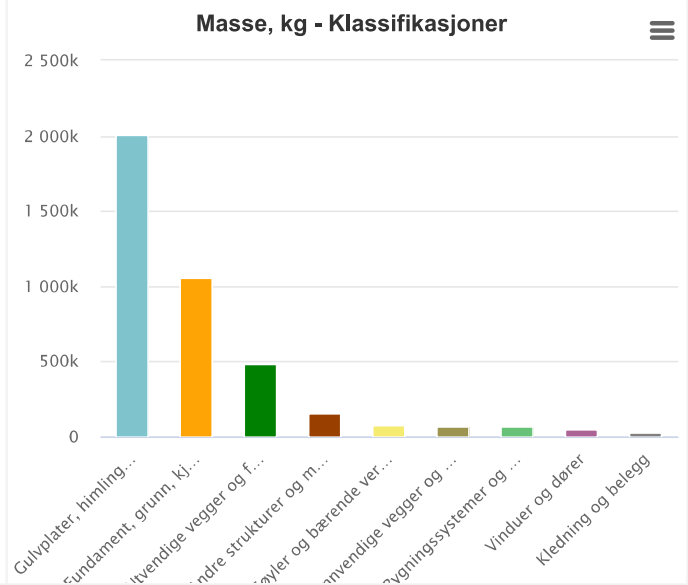
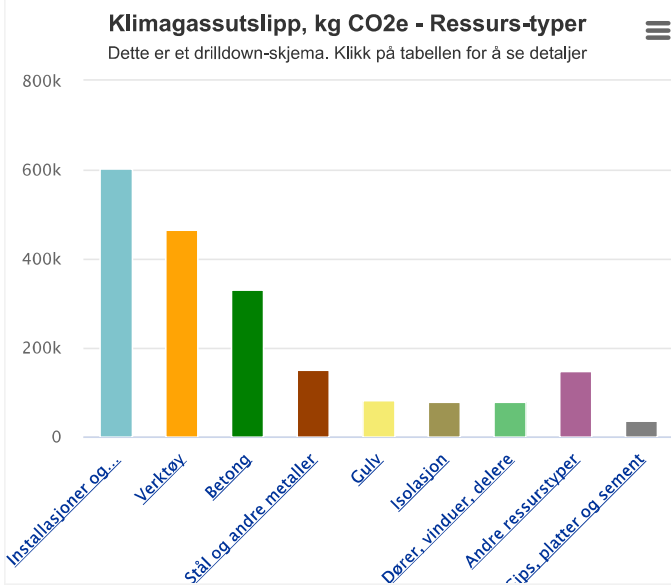
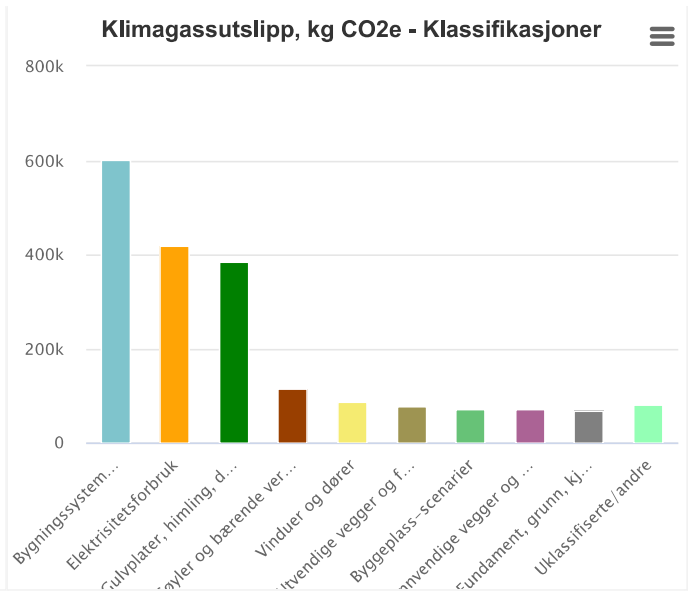
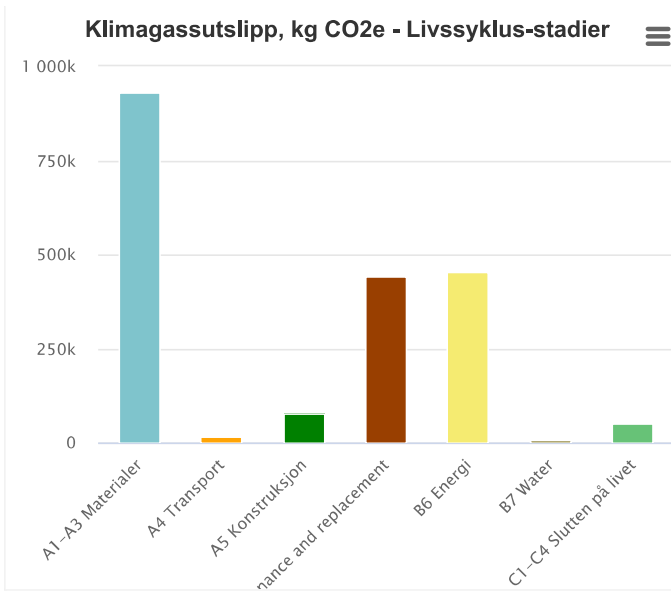
No.	Ressurs	Påvirkning fra start til slutt (A1-A3)	Vugge til port (A1-A3)	Bærekraftige alternativer
18.	Avrettingsmasse, Proplan Basic  ?	11 tonn CO ₂ e	1.2 %	Vis bærekraftige alternativer
19.	Vinyl flooring ?	10 tonn CO ₂ e	1.1 %	Vis bærekraftige alternativer
20.	Massive wooden flooring/parquet  ?	10 tonn CO ₂ e	1.1 %	Vis bærekraftige alternativer
21.	Aluminum profile for windows and doors ?	10 tonn CO ₂ e	1.1 %	Vis bærekraftige alternativer
22.	Acoustic fiberglass underlayment  ?	8,9 tonn CO ₂ e	1.0 %	Vis bærekraftige alternativer
23.	Interior glass door  ?	9 tonn CO ₂ e	1.0 %	Vis bærekraftige alternativer
24.	Strukturelle stålprofiler, generisk  ?	8,3 tonn CO ₂ e	0.9 %	Vis bærekraftige alternativer
25.	Automatic revolving door ?	5,8 tonn CO ₂ e	0.6 %	Vis bærekraftige alternativer

Grafer

Oversikt over livssyklusen til Klimagassutslipp

Kake Linje **Kolumn** Treemap





Vis datatabell: Klimagassutslipp - Livssyklus-stadier Klimagassutslipp - Klassifikasjoner Klimagassutslipp - Ressurs-typer Masse - Klassifikasjoner

Klimagassutslipp - Livssyklus-stadier

Enhet	Verdi	Enhet	Prosent %
A1-A3 Materialer	932 110,55	kg CO2e	47.12 %
A4 Transport	13 631,43	kg CO2e	0.69 %
A5 Konstruksjon	76 117,31	kg CO2e	3.85 %
B1-B5 Maintenance and replacement	442 705,65	kg CO2e	22.38 %
B6 Energi	454 439,05	kg CO2e	22.97 %
B7 Water	9 000	kg CO2e	0.45 %
C1-C4 Slutten på livet	50 187,52	kg CO2e	2.54 %

Klimagassutslipp - Klassifikasjoner

Enhet	Verdi	Enhet	Prosent %
Bygningsystemer og -installasjoner (3, 4, 5, 6)	602 343,22	kg CO2e	30.45 %
Elektrisitetsforbruk	419 468,42	kg CO2e	21.2 %
Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	384 677,69	kg CO2e	19.45 %

Enhet	Verdi	Enhet	Prosent %
Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	114 495,47	kg CO2e	5.79 %
Vinduer og dører	87 439,75	kg CO2e	4.42 %
Utvendige vegger og fasade (23)	77 324,98	kg CO2e	3.91 %
Byggeplass-scenarier	72 349,91	kg CO2e	3.66 %
Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	70 939,66	kg CO2e	3.59 %
Fundament, grunn, kjeller og støttemurer (20, 21)	69 156,66	kg CO2e	3.5 %
Uklassifiserte/andre	79 995,75	kg CO2e	4.04 %

Klimagassutslipp - Ressurs-typer

Enhet	Verdi	Enhet	Prosent %
Installasjoner og systemer	602 343,22	kg CO2e	30.45 %
Verktøy	467 206,45	kg CO2e	23.62 %
Betong	331 242,93	kg CO2e	16.74 %
Stål og andre metaller	150 762,51	kg CO2e	7.62 %
Gulv	82 980,41	kg CO2e	4.19 %
Isolasjon	80 256,18	kg CO2e	4.06 %
Dører, vinduer, delere	79 608,92	kg CO2e	4.02 %
Andre ressurstyper	147 479,44	kg CO2e	7.46 %
Gips, platter og sement	36 311,45	kg CO2e	1.84 %

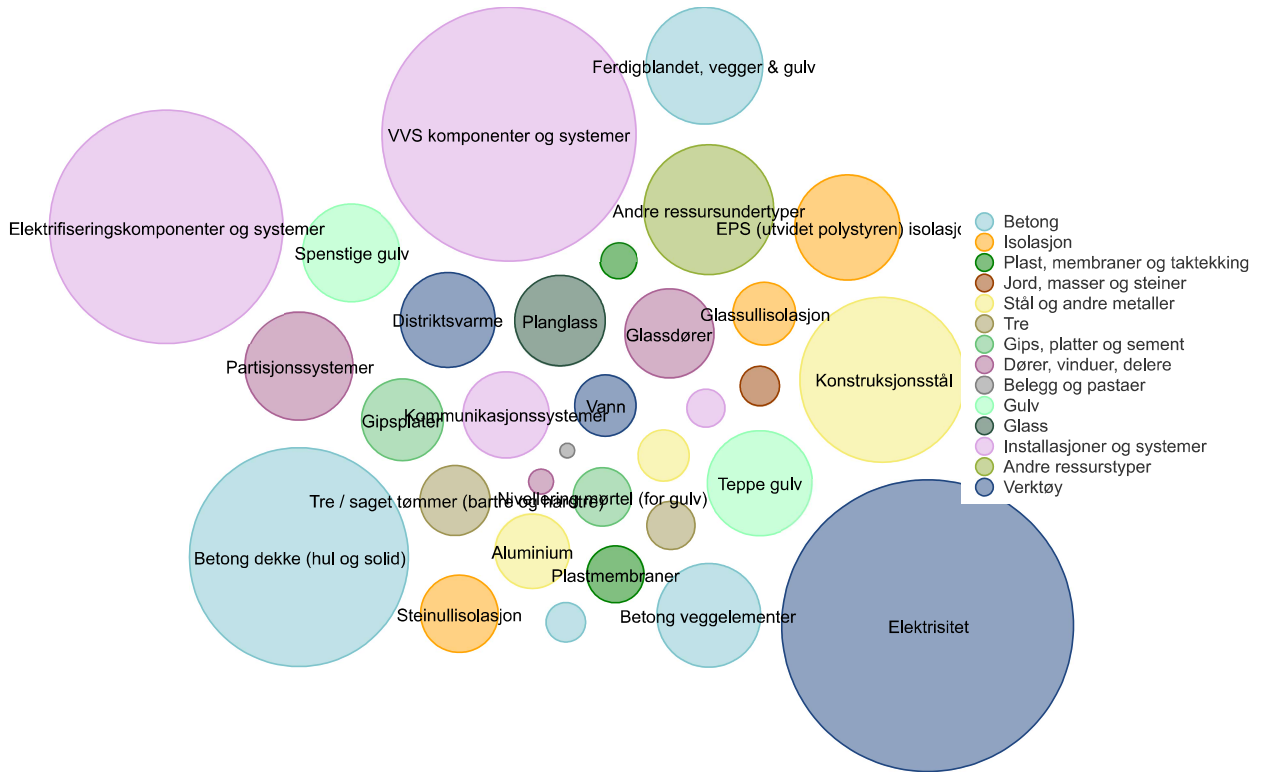
Masse - Klassifikasjoner

Enhet	Verdi	Enhet	Prosent %
Gulvplater, himling, dekker på tak, bjelker og tak (25, 26)	2 003 424,44	kg	50.1 %
Fundament, grunn, kjeller og støttemurer (20, 21)	1 057 136,62	kg	26.44 %
Utvendige vegger og fasade (23)	480 044,91	kg	12.0 %
Andre strukturer og materialer (27, 28, 29)	159 159,75	kg	3.98 %
Søyler og bærende vertikale strukturer (22)	78 419	kg	1.96 %
Innvendige vegger og ikke-bærende strukturer (24)	71 594,05	kg	1.79 %
Bygningssystemer og -installasjoner (3, 4, 5, 6)	66 222,93	kg	1.66 %
Vinduer og dører	51 735,22	kg	1.29 %
Kledning og belegg	31 008,2	kg	0.78 %



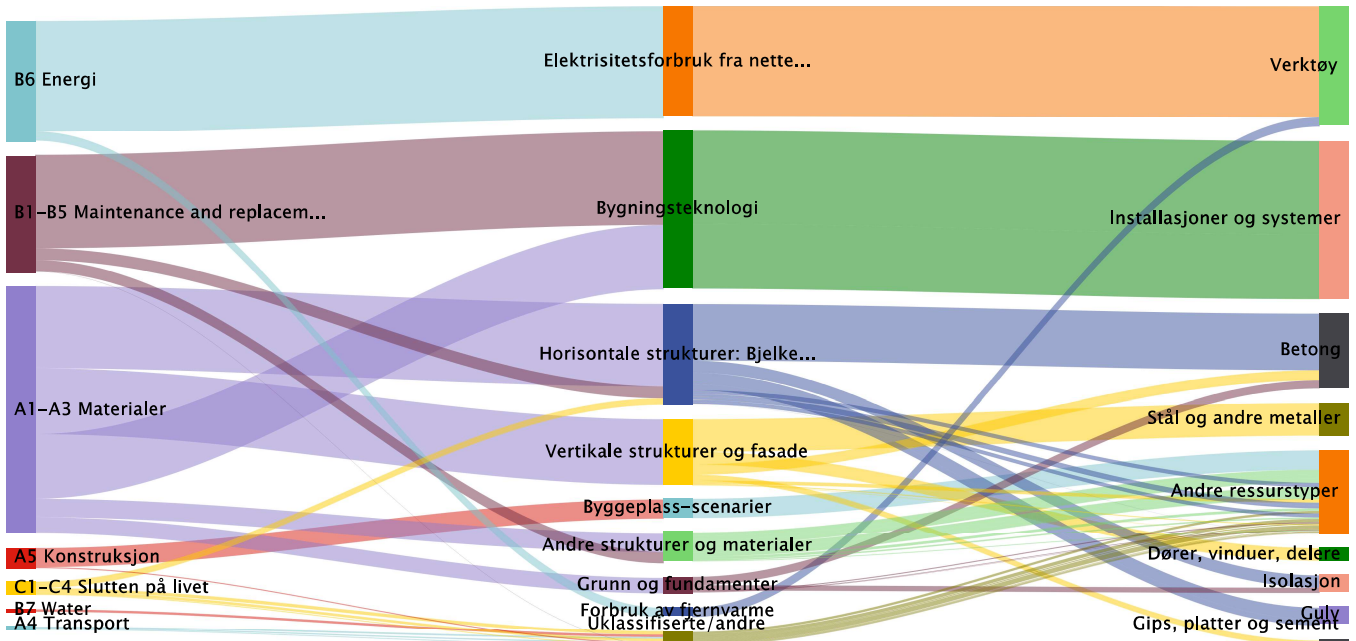
Boblediagram, total livssykluspåvirkning etter ressurstype og undertype, Klimagassutslipp

Hold musen over legendene eller boblene i diagrammet for å vise påvirkningene. Boblenes minste- og største størrelser er begrenset for lesbarhet



Konfigurer diagrammet ditt

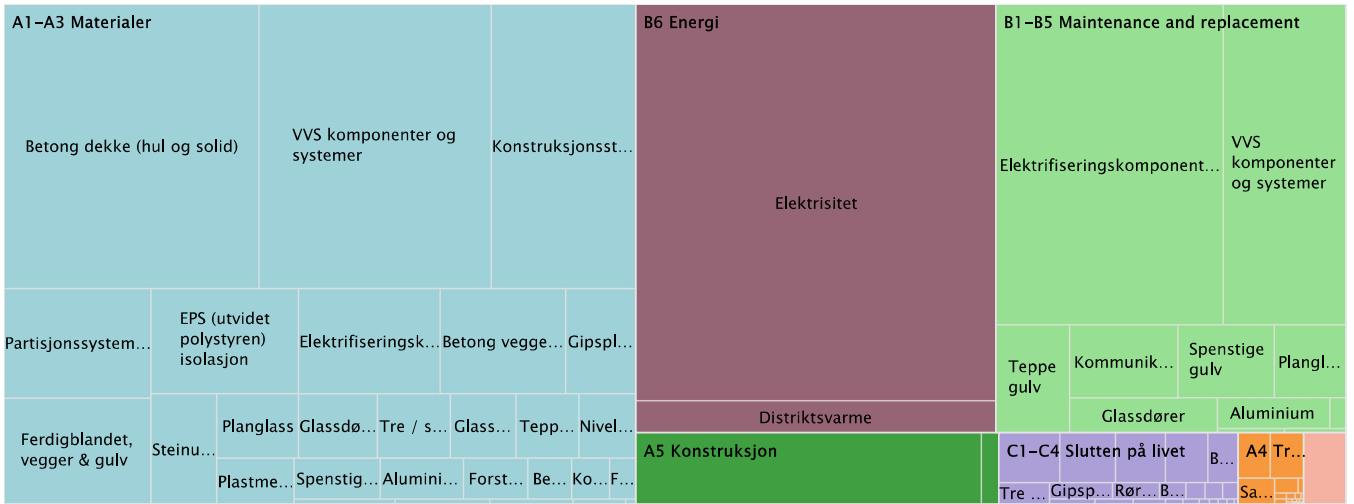
Sankey-diagram, Klimagassutslipp



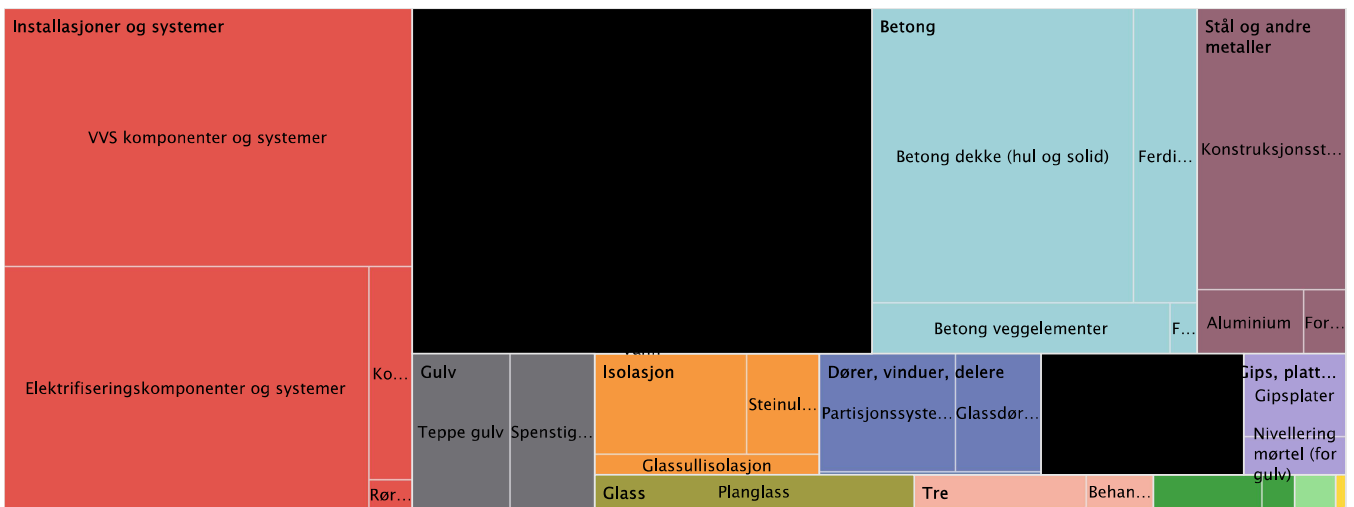
Treemap, Klimagassutslipp



Life cycle stage – subtype

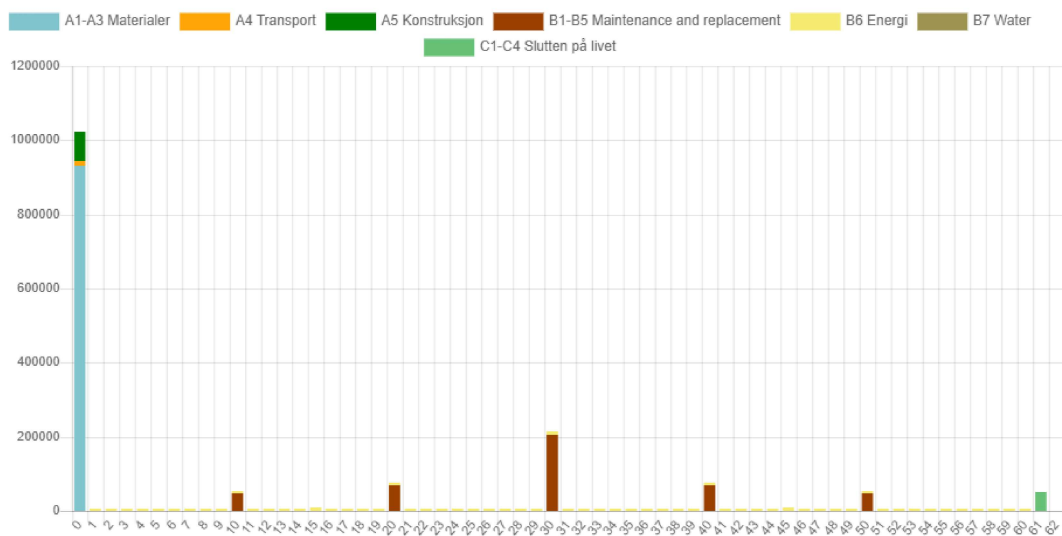


Resource type – subtype (over whole life-cycle)



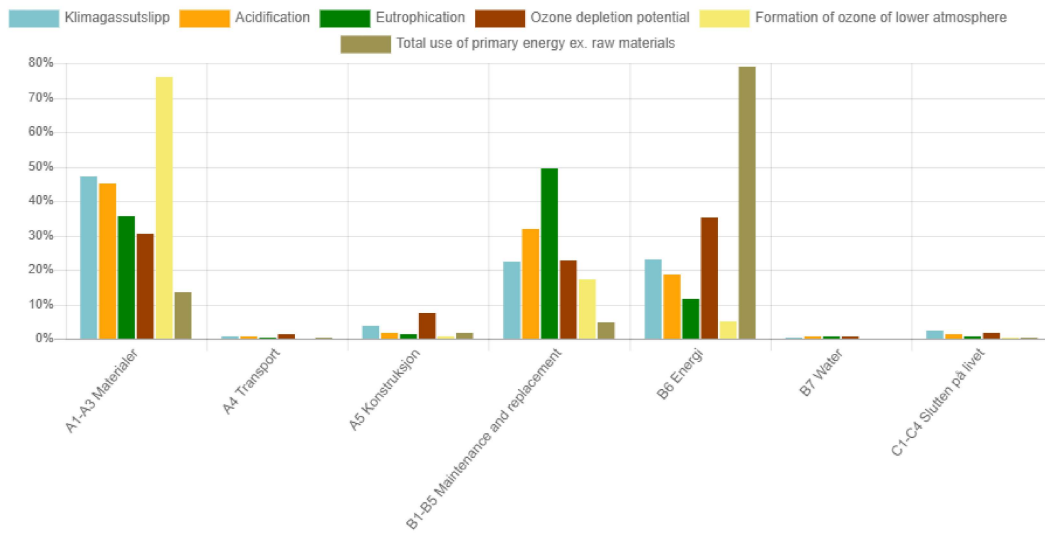
Visualisering av de årlige effektene

Klikk på en kategori i legenden for å skjule/vis. [Last ned som bildefil](#)



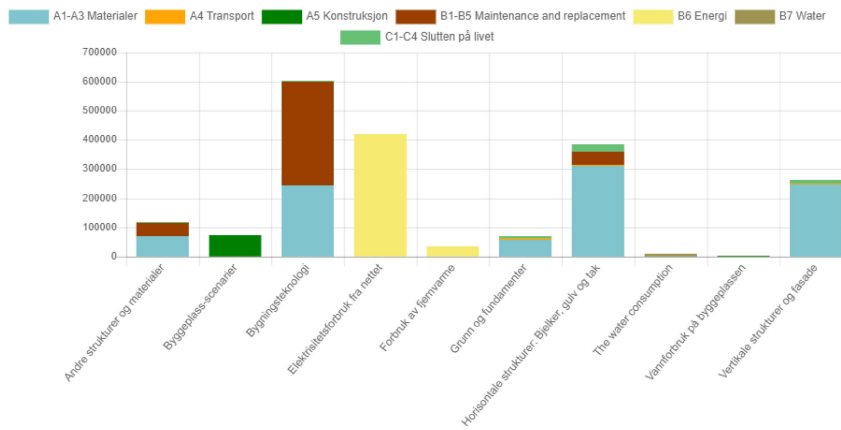
Resultatfordeling fordelt etter livssyklusstadium

Klikk på en kategori i legenden for å skjule/vise [Last ned som bildefil](#)



Klimagassutslipp (GWP) Detaljoversikt

Klikk på en kategori i legenden for å skjule/vise [Last ned som bildefil](#)



[+ Vis detaljert oversikt for alle kategorier](#)

Datakilder





Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway