

Livssyklusbetraktninger for levedyktig oppgradering av kontorbygg

Oda Caroline Wood

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: Juni 2012

Hovedveileder: Rolf André Bohne, BAT

Medveileder: Anders-Johan Almås, Multiconsult

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg, anlegg og transport



Oppgavens tittel: Livssyklusbetragtninger for levedyktig oppgradering av kontorbygg	Dato: 14.06.2012		
	Antall sider (inkl. vedlegg): 195		
	Masteroppgave	X	Prosjektoppgave
Navn: Stud.techn. Oda Caroline Wood			
Faglærer/veileder: Rolf André Bohne, BAT			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Anders-Johan Almås, Multiconsult AS			

Ekstrakt:

Denne oppgaven omhandler vurderinger av levedyktighet, herunder betraktninger av konsekvenser for miljø og økonomi over tid. Det er gjennomført beregninger av livssyklus kostnader (LCC) i henhold til NS 3454. I tillegg er det gjort en livsløpsvurdering (LCA) ved hjelp av klimagassregnskap.no. Dette knyttes opp mot en tenkt oppgradering av en kontorblokk i Sandvika til plussnivå.

Tre ulike konsepter for oppgradering av kontorblokken ble vurdert, herunder to plusskonsept og en standard oppgradering etter gjeldende byggeteknisk forskrift. Alle konseptene innebærer utskifting av fasaden, økte isolasjonsmengder i yttervegg og nytt ventilasjonsanlegg. Utover dette varierer konseptenes omfang. Plusskonseptene involverer installasjon av varmepumpe og solcellepanel på tak.

Ved beregningene benyttes en analyseperiode på 25 år, og oppgraderingen betraktes som en av flere mindre sykluser i løpet av bygningens totale livsløp. Beregningene resulterte i kun små forskjeller mellom konseptenes analyseperiodekostnad. Det totale klimagassutslippet fra plusskonseptene var langt mindre enn ved standard oppgradering. Generelt peker energi- og materialbruk seg ut som de mest bidragsytende prosessene. Gjennomførte sensitivitetsanalyser viser at konseptenes relative prestasjoner forblir uendret selv ved forholdsvis store variasjon i de antatte inputparameterne.

Resultatene ble knyttet opp i et bærekraftig perspektiv for å kunne vurdere levedyktigheten av de ulike konseptene. På bakgrunn av dette kan det konkluderes med at pluss i dette tilfellet er et mer levedyktig alternativ enn standard oppgradering. Dette begrunnes med at de i større grad møter fremtidige krav, samtidig som de minimerer de miljømessige og økonomiske konsekvensene som følge av oppgraderingen.

Stikkord:

1. Levedyktighet
2. Livssyklus kostnader (LCC)
3. Livsløpsvurdering (LCA)
4. Pluss

Sammendrag

Myndighetene har som mål å redusere klimagassutslippene fra den norske bygningssektoren. En stor andel av dette må hentes gjennom energieffektivisering av eksisterende bygninger. For å sikre bærekraftig utvikling er det samtidig viktig med livssyklusbetraktninger i forbindelse med gjennomføring av slike byggeprosjekter. Levedyktighet brukes i denne forbindelse som et grunnleggende prosjektkriterium. Vurdering av levedyktighet innebærer en betraktning av konsekvenser for miljø, økonomi og samfunn over tid.

I denne masteroppgaven fokuseres det på konsekvenser for miljø og økonomi. To ulike metoder for livssyklusbetraktninger er benyttet. Livssyklus kostnader (LCC) er et samlebegrep på alle kostnader som påløper gjennom bygningens livsløp. LCC-beregninger belyser forholdet mellom kapitalkostnader og kostnader som påløper i driftstiden, slik at totaløkonomien i et byggeprosjekt synliggjøres. Livsløpsvurdering (LCA) er en metode som benyttes for vurdering av miljøbelastninger til en bygning gjennom dets livsløp. Her kartlegges ressurspåvirkningen til alle komponentene og prosessene som inngår i bygningen for å kunne si noe om den totale miljøbelastningen.

Disse metodene knyttet i oppgaven opp mot et casebygg, en kontorblokk i Sandvika. Denne kontorblokken er en av to blokker som er tenkt oppgradert til plusshus i regi av Powerhouse-alliansen. I oppgaven benyttes Powerhouse-definisjonen av plusshus "*Bygg som gjennom driftsfasen genererer mer fornybar energi enn det som ble brukt til produksjon av byggevarer, oppføring, drift og avhending av bygget*".

Tre ulike konsepter for oppgradering av kontorblokken ble vurdert, herunder to plusshuskonsept og et null-alternativ. Null-alternativet er her en standard oppgradering i henhold til gjeldende byggteknisk forskrift. Samtlige konsepter involverer blant annet utskifting av fasaden som helhet, økte isolasjonsmengder i yttervegg og nytt ventilasjonsanlegg. Utover dette varierer konseptenes omfang av tiltak i økende grad fra standard oppgradering til plusshuskonsept 2. Energiforsyningen for standard oppgradering forblir undret, med bruk av fjernvarme og -kjøling, samt elektrisitet fra nettet. De to plusshuskonseptene innebærer installasjon av varmepumpe for å dekke store deler av oppvarmings- og kjølebehovet, og solcellepanel på tak som skal forsyne bygningen med elektrisitet.

Ved beregningene benyttes en analyseperiode på 25 år, tilsvarende den antatte brukstiden. Oppgraderingen betraktes med dette som en av flere mindre sykluser i løpet av bygningens totale livsløp. LCC-beregningene gjøres i henhold til gjeldende standard, NS3454, på nøkkeltallsnivå, der prosjektkostnader beregnes etter elementprismetoden. Det nettbaserte beregningsverktøyet klimagassregnskap.no benyttes ved LCA-beregningene. Modellen benyttes til å beregne klimagassutslipp fra materialbruk, transport- og stasjonær energi i drift. Modellen inkluderer verken utslipp knyttet til tekniske anlegg eller byggeavfall. Det gjøres derfor en separat beregning av utslippene fra byggeavfall.

Beregningene resulterte i en rangering av konseptene som vist i tabellen.

Rangering	LCC	LCA
1	Konsept 1	Konsept 2
2	Standard oppgradering	Konsept 1
3	Konsept 2	Standard oppgradering

Det var kun små forskjeller som skilte analyseperiodekostnaden til konseptene. Dette skyldes at tross lavere prosjektkostnader har standard oppgradering betraktelig større årlige energiutgifter enn plusshuskonseptene. Det totale klimagassutslippet fra plusshuskonseptene var langt mindre enn ved standard oppgradering, noe som i stor grad skyldes bruken av elektrisitet fra nettet ved standard oppgradering. Generelt peker energi- og materialbruk seg ut som de mest bidragsytende prosessene.

Etttersom det er store usikkerheter knyttet til flere av inputparameterne som er benyttet i beregningen ble det foretatt en rekke sensitivitetsanalyser. Disse analysene viser at rangeringen av konseptene forblir uendret selv ved relativt store variasjon i de antatte parameterne.

Resultatene ble knyttet opp i et bærekraftig perspektiv for å kunne vurdere levedyktigheten av de ulike konseptene. På bakgrunn av dette kan det konkluderes med at plusshus i dette tilfellet er et mer levedyktig alternativ enn standard oppgradering. Dette begrunnes i at de i større grad møter fremtidige krav, samtidig som de minimerer de miljømessige og økonomiske konsekvensene som følge av oppgraderingen.

Abstract

The Norwegian government aims to reduce the level of greenhouse gasses emitted by buildings. This must largely be done by reducing energy use in existing buildings. Life cycle assessments must be carried out in order to ensure sustainable development in connection with these types of building upgrades. Viability becomes an important project criterion and includes examining the long-term environmental, economic and social consequences.

This master thesis puts focus on the environmental and economic consequences using two different methods for life cycle assessment. Life cycle costs (LCC) is a collective term for all cost that accrue during the buildings life cycle. LCC calculations highlight the proportion of capital costs as compared to the operating costs that occur during the calculation period, and illustrate the economics of the project as a whole. Life cycle analysis (LCA) is a method that is used for evaluating the environmental impact of a building throughout its lifetime. It maps out the resource use from the involved processes and components in order to evaluate the total impact.

The above mentioned methods were applied to a case building, in this instance an office building in Sandvika, Norway. This office building is one of two office buildings that are planned to be upgraded to plus energy buildings. A plus energy building is defined by Powerhouse as *"a building which during its operational phase generates more renewable energy than is used for production of building components, building erection, operation and disposal of the building"*.

Three alternative concepts for upgrading were evaluated, two plus energy concepts and a default concept. The default concept is a standard upgrade to meet the current building code. All of the alternatives involve changing the entire façade, increasing the insulation thickness in the outer walls, and replacing the existing ventilation system. The extent of the measures used increases from the standard concept to the plus house concept 2. The methods for energy supply remain the same for the standard concept; using district heating and cooling as well as electricity from the grid. The plus house concepts include installation of a heat pump to supply heat and cooling, as well as solar cell panels on the roof to produce electricity.

A 25 year period is used in the calculations, corresponding to the expected period of use. The upgrade is thus considered to be one of the many cycles that will occur during the building's total lifespan. The LCC calculations are carried out in accordance with the current mandatory Norwegian Standard 3454 using key cost figures. The web based model "klimagassregnskap.no" is used for LCA calculations. This model estimates the amount of greenhouse gasses that are emitted from the use of materials, transport and energy during operation. Neither emissions from technical equipment nor construction waste is included in the model. The emissions from construction waste is therefore calculated separately.

The LCC and LCA calculations resulted in the ranking shown in the table below.

Ranking	LCC	LCA
1	Plus house concept 1	Plus house concept 2
2	Standard upgrading	Plus house concept 1
3	Plus house concept	Standard upgrading

There was little that separated the three concepts with regard to the present value of total costs for the chosen time period. A standard upgrade requires less initial investments but the annual energy costs are considerably higher. The total greenhouse gas emissions for the two plus house concepts are significantly less than in the case of a standard upgrade. This is due to the large amount of emissions associated with use of electricity from the grid. It is the use of materials and energy that were identified to be the two elements which contribute most to the total outcome.

There is great uncertainty connected with the input parameters used in the calculations. Therefore various sensitivity analyses were performed. These demonstrate that the rankings shown above remain the same despite large variations in the input parameters.

The results were evaluated with respect to sustainability in order to assess the viability of the different concepts. On this basis the plus energy houses were the more viable alternatives as opposed to a standard upgrade. This can be explained by the fact that these concepts to a greater extent meet future building requirements, while minimizing the environmental and economic consequences that occur as a result of the planned upgrade.

Forord

Denne masteroppgaven er det avsluttende arbeidet i et femårig mastergradstudium ved Institutt for Bygg, anlegg og transport våren 2012 på Norges Tekniske og Naturvitenskapelige Universitet (NTNU). Oppgaven faller inn under fordypningsretningen Bygnings- og materialteknikk. Arbeidet har utgjort 30 studiepoeng.

Opggaven omhandler livssyklusbetraktninger i tilknytning til et spesifikt case, en kontorblokk på Kjørbo i Sandvika. Dette inkluderer beregning av livssyklus kostnader (LCC) og livsløpsvurderinger (LCA) for alternative konsepter for oppgradering av kontorblokken. Ved utarbeidelse av oppgaven har det vært et samarbeid med to andre masterstudenter som også studerer samme casebygg. Sammen skal disse masteroppgavene belyse ulike forhold i forbindelse med oppgraderingen. Det er utvekslet data mellom studentene, og der dette forekommer kommer det tydelig frem av oppgaven.

Jeg ønsker å takke mine to veiledere Rolf Andre Bohne ved BAT-instituttet og Anders-Johan Almås i Multiconsult, som har tatt seg tid til å svare på spørsmål og komme med veiledning underveis. Jeg vil også takke Eivind Selvig i Civitas for all hjelpen i forbindelse med klimagassregnskap.no, Christian Listerud i Multiconsult som har bidratt med nøkkeltall, og driftsansvarlig Per Iversen i Entra Eiendom for all informasjonen om casebygget. I tillegg må det rettes en takk til alle professorer ved instituttet, leverandører og rådgivere som har hjulpet meg med diverse forespørsler og problemstillinger knyttet til oppgaven.

Trondheim 14. juni 2012



Oda Caroline Wood

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	I
Abstract	III
Forord.....	V
1 Innledning.....	5
1.1 Bakgrunn	5
1.2 Formål og omfang	6
1.3 Avgrensning og oppbygging	6
1.4 Begrepsavklaring	8
2 Teori.....	11
2.1 Livssyklus kostnader (LCC).....	11
2.2 Miljøstyring – Livsløpsvurdering (LCA)	16
2.3 Komplette Livsløpsanalyse	24
2.4 Plusshus.....	25
3 Metode	29
3.1 Tilnærming til metode.....	29
3.2 Litteraturstudie.....	30
3.3 Casestudie	30
3.4 Livssyklus kostnader (LCC).....	31
3.5 Livsløpsvurdering (LCA)	34
3.6 Usikkerheter	37
4 Presentasjon av casebygget	47
4.1 Powerhouse.....	47
4.2 Kjørboprojektet.....	48
5 Alternative konsepter for oppgradering	55
5.1 Standard oppgradering.....	55
5.2 Plusshuskonsept.....	59
5.3 Oppsummering av tiltak og oppnådde resultater	62
6 Beregninger og resultater	65
6.1 LCC-beregninger	65
6.2 Resultater fra LCC-beregningene	71
6.3 Beregning av klimagassutslipp (LCA).....	73

6.4 Resultater fra LCA-beregningene	79
7 Vurderinger	85
7.1 Drøfting av resultatene	85
7.2 Knytting av resultatene opp mot bærekraft og levedyktighet.....	88
7.3 Sensitivitetsanalyser.....	92
8 Konklusjon	101
8.1 Anbefalinger	101
9 Videre arbeid.....	103
10 Litteraturliste.....	105
Vedlegg.....	115
Vedlegg 1 – Masteroppgavetekst.....	115
Vedlegg 2 – Utdrag fra SIMIEN-simulering for eksisterende blokk 5.....	118
Vedlegg 3 – Utdrag fra SIMIEN-beregninger – tilfredsstillende energikvaliteter i TEK 10.....	123
Vedlegg 4 – Inndata SIMIEN-beregninger Standard oppgradering.....	125
Vedlegg 5 – Utdrag fra SIMIEN-simulering for standard oppgradering.....	131
Vedlegg 6 – Utdrag fra SIMIEN-simulering for konsept 1	135
Vedlegg 7 – Utdrag fra SIMIEN-simulering for konsept 2	139
Vedlegg 8 – Levetidsvurderinger.....	143
Vedlegg 9 – Kontoplanoversikt.....	146
Vedlegg 10 – Mengdeberegninger	152
Vedlegg 11 – LCC-beregninger	156
Vedlegg 12 – Innlagte materialmengder i materialmodulen	180
Vedlegg 13 – LCA-resultater fra Klimagassregnskap.no.....	183
Vedlegg 14 – Beregning av utslipp fra riveprosessen	184

Figurliste

Figur 1 – Sammenhengen mellom begreper i LCC-beregninger (Standard Norge, 2000)	12
Figur 2 – Bygningers livsløp ("vugge-grav").....	17
Figur 3 – Kyoto-pyramiden for passiv energidesign (Andresen, et al., 2010)	26
Figur 4 – Validitet og reliabilitet - fokus versus presisjon (Samset, 2008)	30
Figur 5 – Beregningsgangen i KGR.....	35
Figur 6 – Systemgrense for utslipp i avhendingsfasen.....	37
Figur 7 – Styringsrente (nominell rente) i perioden 1985-2011.....	40
Figur 8 – Konsumprisindeksen i perioden 1985-2011.....	41
Figur 9 – Gjennomsnittlige priser på elektrisk kraft, eksklusive avgifter og nettleie. Alle typer kontrakter. 1. kvartal 1998-4. kvartal 2011 (Statistisk Sentralbyrå, 2012b)	44
Figur 10 – Kontorblokkene på Kjørbo.....	47
Figur 11 – Situasjonsplan Kjørboparken (Iversen, 2012a).....	49
Figur 12 – Beregnet årlig energibudsjett for eksisterende kontorblokk 5	51
Figur 13 – Beregnet levert energi for eksisterende kontorblokk 5	52
Figur 14 – Beregnet varmetapsbudsjett for eksisterende kontorblokk 5	52
Figur 15 – Målt levert energi for eksisterende blokker 1-6.....	53
Figur 16 – Sammenstilling av resultater for energibehov og -bruk.....	54
Figur 17 – Oppnådde energireduksjoner	64
Figur 18 – Analyseperiodens livssyklus	66
Figur 19 – LCC-kalkyler med analyseperioder kortere enn total levetid (Standard Norge, 2012a)	66
Figur 20 – Analyseperiodekostnad fordelt på hovedpostene	72
Figur 21 – Fordeling av energikostnader.....	73
Figur 22 – Klimagassutslipp fra ulike prosesser.....	77
Figur 23 – Klimagassutslipp fordelt over hele levetiden	78
Figur 24 – Klimagassutslipp fordelt over analyseperioden	78
Figur 25 – Årlige utslipp i analyseperioden	79
Figur 26 – Utslipp fra materialbruk	80
Figur 27 – Utslipp fra stasjonær energi i drift	81
Figur 28 – Utslipp fra transport i drift	82
Figur 29 – Utslipp fra riveprosessen.....	82
Figur 30 – Samlet utslipp over analyseperioden og restutslipp.....	83

Figur 31 – Nåverdi av analyseperiodekostnaden ved ulike kalkulasjonsrenter	92
Figur 32 – Årskostnad ved ulike kalkulasjonsrenter.....	93
Figur 33 – Nåverdi av analyseperiodekostnaden ved ulike elektrisitetspriser	94
Figur 34 – Nåverdi av analyseperiodekostnaden ved ulike brukstider	95
Figur 35 – Totale klimagassutslipp ved alternative utslippsfaktorer for elektrisitet	96
Figur 36 – Totale klimagassutslipp fra stasjonær energi i drift ved alternative utslippsfaktorer for elektrisitet	97
Figur 37 – Analyseperiodekostnad ved økt elektrisitetsbehov for plusshuskonseptene.....	98
Figur 38 – Totale klimagassutslipp ved økt elektrisitetsbehov for plusshuskonseptene.....	98

Tabelliste

Tabell 1 – Begrepsavklaring.....	8
Tabell 2 – LCC-begrep (Standard Norge, 2000)	13
Tabell 3 – LCC-verktøy og -databaser	14
Tabell 4 – LCA-faser	17
Tabell 5 – LCA-verktøy og -databaser.....	22
Tabell 6 – Utslippsfaktorer for elektrisitetsbruk (Selvig, 2011).....	46
Tabell 7 – Oversiktstabell med oppmålte areal for blokk 4 og 5.....	49
Tabell 8 – Utgangspunkt for standard oppgradering	55
Tabell 9 – Minstekrav i TEK 10 (Lovdata, 2012a)	56
Tabell 10 – Passivhuskrav for yrkesbygg (Dokka, et al., 2009), (Standard Norge, 2011)	59
Tabell 11 – Oppsummering av konsepter for oppgradering	62
Tabell 12 – Justeringsfaktorer for nøkkeltall.....	70
Tabell 13 – Sammendrag av analyseperiodekostnadenes nåverdi	71
Tabell 14 – Sammendrag av analyseperiodekostnadenes årskostnad	72
Tabell 15 – Valgt håndteringsmetoder for byggeavfall	77
Tabell 16 – Rangering av konseptene	87
Tabell 17 – Alternative utslippsfaktorer for elektrisitet i KGR	95

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Energibruk i bygninger utgjør omtrentlig 40 % av den totale energibruken i Norge, og dermed en stor andel av de totale klimagassutslippene. Hovedkilden til slike utslipp er bruk av fossil energi til drift av bygningene. Norge har forpliktet seg til klimagassreduksjoner gjennom Kyoto-protokollen i form av en klimagassavtale med EU. Både EU og Norge har som mål å redusere klimagassene i den grad at det skal kunne forhindre global oppvarming utover 2 grader ("2-graders-målet") (Selvig, et al., 2011). Dette har resultert i høye ambisjoner for utslippsreduksjoner i Norge, herunder Regjeringens nasjonale målsetning om et utslippsnøytralt Norge innen 2050 (Selvig, 2007).

Mye av klimagassreduksjonene skal hentes ved reduksjon av energibruken til drift av bygninger, og en stor andel av dette må hentes i eksisterende bygninger. To hovedtiltak for å redusere klimagassutslipp fra bygninger er å redusere energibruken gjennom energieffektivisering og konvertering til mer miljøvennlige energikilder (Klima- og forurensningsdirektoratet, 2010).

I dagens samfunn er det samtidig stort fokus på bærekraftig utvikling som defineres som "*utvikling som møter dagens behov uten å gå på bekostning av fremtidige generasjoners mulighet til å møte deres behov*" (International Standard, 2008). Dette innebærer økt grad av langsiktig tenkning, også i byggesektoren. Med tanke på at myndighetene stadig skjerper inn forskriftskravene og krever redusert energibruk, er det nødvendig med høye energiambisjoner i forbindelse med dagens byggeprosjekter.

Utviklingen av nye energikonsepter for bygninger har vært utbredt de senere årene, med en utvikling mot stadig lavere energibehov i driftsfasen. Det er et uttalt mål fra myndighetene å innføre passivhusstandard som forskriftskrav innen 2020, med en videre utvikling mot plusshus. Å utvikle bygg med lavt energibruk har vært i fokus både ved nybygg og oppgradering av eksisterende bygg og utgjør gjerne en stor del av markedsføringsstrategier. Samtidig er slike tiltak både kostbart og kan medføre økte klimagassutslipp på andre områder, blant annet i forbindelse med økt materialbruk.

I prosjektoppgaven utarbeidet høsten 2011 ble handlingsrommet for levedyktig energieffektivisering av eksisterende bygg kartlagt. Prosjektoppgaven belyste viktigheten av å ha et livssyklusperspektiv ved vurdering av konsekvenser av valg som tas. Spesielt er dette viktig i bygningsammenheng ettersom bygg generelt har en lang levetid og representerer store samfunnsverdier. Levedyktighet ble trukket frem som et viktig kriterium for vellykkede prosjekter. Oppgradering til høyere energistandard er ressurskrevende, og ettersom ressurstilgangen ofte er begrensende er det viktig å sikre best mulig ressursutnyttelse. Levedyktighet innebærer at det må sees på et bredere spekter av konsekvenser over hele bygningens livsløp for å kunne velge de rette prosjektene og tiltakene å investere i.

Økt fokus på livsløpstankegang og livsløpsplanlegging skyldes i hovedsakelig to forhold: krav fra myndighetene og målet om økonomisk vinning. I "*Lov om Offentlig Anskaffelse*" § 6 stilles det krav til

at det skal inkluderes en vurdering av livssyklus kostnader ved anskaffelse og planlegging, samt de tilhørende miljøkonsekvensene (Lovdata, 2012a). Også i privat bygningssektor er det økt fokus på behovet for livsløpstankegang ettersom stadig mer bevisste brukere etterspør driftsøkonomiske og miljøvennlige byggverk.

Ofte er det et ensrettet fokus på energireduksjoner og et forutbestemt energikonsept, men for å oppnå bærekraftig oppgradering og god ressursutnyttelse må det sees på et bredere spekter av konsekvenser. To viktige konsekvensområder utover kun energibruk ble identifisert i prosjektoppgaven: økonomi og klimagassutslipp utover driftsfasen. Dette er kun to samtidig av mange viktige konsekvensområder, men to av de mest aktuelle og sentrale forholdene i byggeprosjektets beslutningsprosess.

1.2 Formål og omfang

Hensikten med oppgaven er å gi innsikt i konsekvensene av en energioppgradering utover kun energireduksjonen. Oppgaven skal med dette gi et bedre beslutningsgrunnlag for valg som tas i denne forbindelse. Dette knyttes direkte opp mot Entras planlagte oppgradering av kontorbygg i Kjørboveien 1 i Sandvika til plusshusnivå.

Herunder gjøres det en overordnet vurdering av Livssyklus kostnader (LCC) og Livsløpsvurderinger (LCA) for tre utvalgte konsepter:

- Standard oppgradering til forskriftskrav
- To ulike konsepter for oppgradering til plusshus

Oppgraderingen vil innebære utskiftning av fasaden. Dette regnes som en vesentlig endring, slik at dagens forskrift om tekniske krav til byggverk (TEK 10) vil være gjeldende. Standard oppgradering blir med dette et null-alternativ siden det representerer minstekravet ved oppgradering av bygget. Øvrige konseptalternativ vil vurderes opp mot dette og mot hverandre.

1.3 Avgrensning og oppbygging

Oppgaven utgjør en del av en større prosjektgruppe i regi av NTNU/Multiconsult som omhandler bærekraftig oppgradering. Det er totalt tre masteroppgaver knyttet til det aktuelle casebygget. Denne oppgaven ser spesielt på de miljømessige og økonomiske konsekvensene av energioppgraderingen. De øvrige oppgavene omhandler:

- Cecilie Schmidt Overøye – Bygningsmessige og tekniske mulighetene for oppgradering til plusshus. Dette inkluderer energisimuleringer og utarbeidelse av ulike plusshuskonsepter for bygget, og benyttes som utgangspunkt i denne oppgaven.
- Håvar Opsjøn – Tilpassing av en nordisk veileder for bærekraftige oppgraderinger av eksisterende bygninger for Norge. Veilederen skal videre prøves ut på casebygget i Sandvika. Oppgaven innebærer blant annet en kartlegging av byggets tilstand og strategi for oppgradering.

Oppgraderingsprosjektet omfatter to kontorblokker. I oppgaven gjøres det en vurdering av levedyktigheten til oppgraderingskonseptene basert på beregninger på en av disse blokkene. Fellesarealer og trapperom inkluderes ikke i vurderingene. Oppgaven tar kun for seg bygningskroppen og de tekniske installasjonene nødvendig for at bygget skal fungere. Det er kun elementer som endres (tilføres eller fjernes) i forbindelse med oppgraderingsprosjektet som betraktes. Riving i starten av oppgraderingen omfatter dermed kun de elementene som skal skiftes ut, og som er nødvendig for å gjøre endringene i bygningskroppen og det tekniske anlegget.

I oppgaven sees det kun på klimagassutslipp blant miljømessige konsekvenser selv om det er mange andre miljøforhold som kan være av interesse. Dette skyldes at klimagassutslipp er en av hovedmotivasjonene bak myndighetenes store satsning på energireduksjoner i bygningssektoren.

Oppgaven består av tre deler:

- En litteraturstudie for å kartlegge LCC, LCA og plusshuskonseptet
- Utarbeidelse av verktøy/metode for LCC og LCA
- Casestudie av den aktuelle kontorbygningen med tilhørende beregninger og vurderinger.

1.4 Begrepsavklaring

Tabell 1 – Begrepsavklaring

Begrep	Definisjon
BRA	Bruksareal, omfatter nettoareal pluss areal av innvendige vegger (Standard Norge, 2007a).
BTA	Bruttoareal, er lik bruttoarealene for alle plan i en bygning summert (Standard Norge, 2007a).
Bundet energi	Den norske betegnelsen på det engelske begrepet "embodied energy". Dette omtaler den statiske energien som er innlemmet i bygget. Denne energien representerer all energien som er brukt til produksjon og transport av materialer og bygningskomponenter, samt ved bruk av disse ved bygging, vedlikehold og oppgradering av bygget.
Byggeavfall	Materialer og gjenstander til overs fra bygging, reovering eller riving av bygninger, konstruksjoner og anlegg (Byggforsk, 2011). Gjelder ikke gravemasser.
CAV-anlegg	Betegnelse på ventilasjonsanlegg med konstant luftmengde.
CO₂-faktor	Angir den mengden karbondioksid som slippes ut i atmosfæren per enhet levert energi (Standard Norge, 2007b).
Energivare	En handelsvare benyttet for å produsere mekanisk arbeid eller varme, eller for å drive kjemiske eller fysiske prosesser (Standard Norge, 2007b).
Klimagasser	Atmosfæriske gasser som slipper gjennom solstråling og fanger opp den reflekterende varmestrålingen fra jorden (Olje- og Energidepartementet, 2001). De primære klimagassene er karbondioksid (CO ₂), metan (CH ₄), lystgass (N ₂ O), perfluorkarboner (PFK), hydrofluorkarboner (HFK) og svovelheksafluorid (SF ₆).
Kuldebro	En del av en bygningskonstruksjon som har vesentlig lavere varmemotstand enn konstruksjonen for øvrig (Novakovic, et al., 2007).
LCA (Livsløpsvurdering)	"Sammenligning og evaluering av inngangsfaktorer, inngangsfaktorer og de potensielle miljøpåvirkningene til et produktsystem gjennom dets livsløp" (Standard Norge, 2006)

LCC (Livssyklus kostnader)	Samtlige kostnader som oppstår i løpet av bygningen livsløp (Byggforsk, 2002).
Levedyktighet	"I hvilken grad tiltaket fortsatt bidrar til realiseringen av effektmål og samfunns mål etter at prosjektet er ferdigstilt og gjennom den antatte levetiden" (Samset, 2008).
Levert energi	Summen av energi som leveres over bygningens systemgrense for å dekke det totale energibehovet. Inkluderer også systemtap som ikke gjenvinnes (Standard Norge, 2007b).
Netto energibehov	Bygningens energibehov sett bort i fra energisystemets virkningsgrad eller eventuelle tap i energikjeden (Standard Norge, 2007b).
Nøkkeltall	"Registrerte kostnader, forbrukstall o.l. angitt per enhet over tid eller samtlige registrerte kostnader, forbrukstall o.l. for like enheter" (Standard Norge, 2012a)
Oppgradering	Utbedring for å sette i bedre stand enn det som opprinnelig var. Begrepet benyttes i oppgaven også ved utbedring etter nye forskriftskrav.
Oppvarmet del av BRA	Andelen av BRA som tilføres varme eller kjøling fra bygningens varme- og kjølesystem. Omsluttet av bygningens klimaskjerm (Standard Norge, 2007b).
Plusshus	En bygning som produserer mer energi enn den forbruker (Sørnes, 2010).
Primærenergi	"Energi i sin opprinnelige form som ikke er blitt omdannet eller gått over i andre energiformer" (Standard Norge, 2007b)
Rehabilitering	Utbedring med hensikt å istandsette til opprinnelige standard (Bjørberg, et al., 2008).
Stasjonært energibruk	Energiforbruk knyttet til faste installasjoner, herunder oppvarming, kjøling mm. (Selvig, 2007).
Tilpasningsdyktighet	Bygningens evne til å møte vekslende krav til funksjonalitet og er en funksjon av generalitet, fleksibilitet og elastisitet (Arge & Landstad, 2002).

2 Teori

Dette kapitlet er en grundig gjennomgang av tre sentrale begrep som er benyttet i oppgaven.

2.1 Livssyklus kostnader (LCC)

LCC er en forkortelse av det engelske begrepet "Life Cycle Cost", som på norsk kalles livssyklus kostnader. Livssyklus kostnad er et samlebegrep på alle kostnadene som påløper gjennom hele bygningens livsløp fra idefase til og med avhendingsfasen. Begrepet defineres som "kapitalkostnader pluss årlige kostnader til forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling (FDVU)" (Standard Norge, 2000).

2.1.1 Hensikten – applikasjon

LCC er et nyttig verktøy under planlegging, programmering og prosjektering av byggeprosjekter, og benyttes ved vurdering av (Standard Norge, 2000):

- Valg mellom ulike konsepter og utforminger
- Detaljutforminger, inkludert valg av materialer, komponenter og systemer
- Ombygging, tilbygg og påbygg
- Forbedret eller endret drift

Livssyklus kostnader belyser forholdet mellom kapitalkostnader og kostnader som påløper i driftstiden slik at det gir et bilde av totaløkonomien i et byggeprosjekt. Dette gir grunnlag for å vurdere alternative utforminger, og dokumentere konsekvensene av å foreta slike valg. Dermed etableres et godt beslutningsgrunnlag for gjennomføring av byggeprosjekter. Målet med beregningene er ikke primært å oppnå lavest mulig LCC, men å synliggjøre konsekvensene av de ulike valgmulighetene.

Det er stadig mer fokus på energibruk i bygninger og tiltak for å redusere dette. Gjennom LCC-vurderinger synliggjøres de faktiske besparelsene av å gjennomføre slike tiltak. FDVU-kostnader utgjør gjerne 40-50 % av de totale levetidskostnadene (Bjørberg & Larsen, 2009). Ved å foreta LCC-kalkulasjoner i tidlig fase, der handlingsrommet er størst, kan balansen mellom kapital- og driftskostnader optimeres på et tidlig tidspunkt. Dette gir potensielt store reduksjoner i FDVU-kostnader og kan benyttes til utarbeidelse av kostnadsrammer, FDVU-budsjetter og som basis for husleieberegninger.

Generelt har det vært stort fokus på investeringskostnader i byggenæringen, til tross for at FDVU kostnader utgjør en stor andel av de totale kostnader sett over bygningens livstid. En av årsakene til dette er de ulike interessene til utbygger og bruker, der den parten som foretar investeringen ikke drar nytte av besparelsene i driftsfasen. De siste årene har kostnadsfokusset beveget seg noe bort fra dette og vært rettet mer mot kostnader i driftsfasen. Som et resultat har livssyklus kostnader fått stadig mer oppmerksomhet. Fokus på totaløkonomi og økt bruk av LCC vil trolig ha en

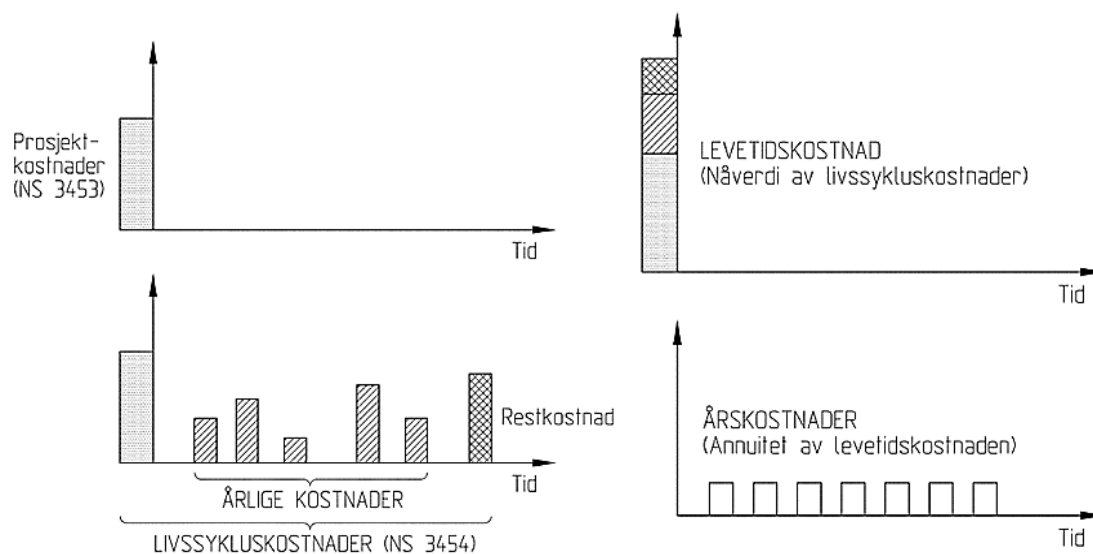
selvforsterkende effekt ved at synliggjøring av alle partenes gevinster bidrar til mer bevisste og krevende kunder som verdsetter mer ressursøkonomiske løsninger (Holthe & Barlindhaug, 2004).

2.1.2 LCC i Norge

Arbeidet med utvikling av kompetanse for kostnadskonsekvenser i byggeprosjekter ble ledet av Rådgivende Ingeniørers Forening (RIF) på slutten av 1970-tallet (Holthe & Barlindhaug, 2004). Begrepet "Årskostnader" ble innført med hensikt å øke fokuset på totaløkonomi i byggeprosjekter, og den norske standarden "NS 3454 Årskostnader for bygninger" ble utgitt i 1988. Årskostnader slo ikke gjennom i byggebransjen og ble kun brukt i begrenset grad i de påfølgende årene. Dette skyldes trolig mangelen på gode verktøy og systemer for generering av nøkkeltall. I de senere årene har denne utviklingen snudd, med Statsbygg som en stor pådriver (Holthe & Barlindhaug, 2004).

En videreutviklet standard "NS 3454 Livssyklus kostnader for byggverk – Prinsipper og struktur" kom i 2000 og innebar en utvidelse av FDV-kostnader til FDVU-kostnader. Samtidig ble tilleggspostene "Service" og "Potensiale i eiendom" innført. Standarden ble fulgt opp av flere Web-verktøy og et nettverk for innsamling av nøkkeltall (Holthe & Barlindhaug, 2004).

Sentrale begreper i standarden er levetidskostnad og årskostnad. I NS 3454 defineres levetidskostnader som nåverdien av livssyklus kostnader, mens årskostnad er annuiteten av levetidskostnadene. Sammenhengen mellom begrepene fremgår av Figur 1.



Figur 1 – Sammenhengen mellom begreper i LCC-beregninger (Standard Norge, 2000)

Levetidskostnad benyttes for å beregne årskostnad ved at den legges ut over bygningens brukstid. Standard Norge angir formlene for beregning av disse to kostnadene som følger:

$$\text{Levetidskostnad: } K = K_0 + \sum_{t=1}^T [(1+r)^{-t} \cdot FDVU_t] - R_T(1+r)^{-T}$$

$$\text{Årskostnad: } \text{ÅK} = K \cdot b \quad \text{med} \quad b = \frac{r}{1-(1+r)^{-T}}$$

Nåverdiberegninger er nødvendig for å kunne sammenligne ulike alternativer, og innebærer at alle kostnadskomponentene føres tilbake til samme tidspunkt ved diskontering. Det er vanlig å uttrykke kostnadskomponentene i en fast kroneverdi, dette letter kalkulasjonene ved at det ikke må anslås en generell prisstigning ved beregning av fremtidige kostnader. Denne forenklingen forutsetter at det diskonteres ved bruk av realrente. Prinsippet er ikke gjeldende for kostnadsposter som ikke følger den generelle prisutviklingen. Disse må tas spesielt hensyn til ved å beregne den differensielle prisstigningen. Formlenene benyttet i NS 3454 forutsetter at alle kostnader føres i slutten av hvert år, og det opereres med tidsintervaller på ett år.

Overnevnte forkortelser og ytterligere begrep ved LCC-beregninger er definert i Tabell 2 i henhold til NS 3454.

Tabell 2 – LCC-begrep (Standard Norge, 2000)

Begrep	Definisjon
Brukstid (T)	Antall år bygningen er tenkt brukt til samme formål. Dersom det foretas ombygging til en annen bruksfunksjon er dette å anse som igangsettelsen av et nytt byggeprosjekt.
Diskonteringsfaktor (d)	Faktor som benyttes til beregning av dagens verdi av fremtidige beløp. $d = (1 + r)^{-t}$
Driftskostnader (D)	Alle kostnader til løpende drift, renhold, energi, vann og avløp, avfallshåndtering, vakt og sikring samt utendørsarbeider.
Faste priser	Pengeverdien knyttet til et bestemt tidspunkt, beregnes ved bruk av prisindekser.
Forvaltningskostnader (F)	Alle kostnader som påløper i form av kommunale skatter og avgifter, forsikringer og i forbindelse med administrasjon av bygget.
Kapitalkostnad (N)	Summen av prosjektkostnad og restkostnad.
Levetidskostnad (K)	Summen av kapitalkostnad og nåverdien av alle utgiftene til FDVU i brukstiden. Tilsvarende nåverdien av livssyklus-kostnadene.
Livssyklus-kostnad	Kapitalkostnader pluss årlige FDVU-kostnader.
Nominell rente (r_n)	Relativ avkastning av kapital når avkastningen beregnes med løpende pengeverdier.
Nåverdi (NV)	Dagens verdi av fremtidige kontantstrømmer.
Potensiale i eiendom (P)	Alle kostnader knyttet til realisering av bygningens utviklingspotensial, herunder ombygging, påbygg/tilbygg og verdiskapende utendørsarbeider
Prosjektkostnad (K₀)	Summen av alle kostnader påløpt ved prosjektets ferdigstilling (ved oppstart av bruksfasen).

Realrente (r)	Relativ avkastning av kapital når avkastningen beregnes i samme pengeverdi som kapitalkostnadene.
Restkostnad (R_T)	Kostnad ved endt brukstid i forbindelse med å rive, fjerne eller selge byggverket.
Service (S)	Alle kostnader til service og støtte ovenfor bygningens kjernevirksomhet, herunder diverse nødvendige tjenester som resepsjon, kantinetjeneste, møbler og inventar, tele- og IT-tjenester, Post m.m.
Utviklingskostnader (U)	Alle kostnader knyttet til utviklingen av bygget for å opprettholde dets verdi over tid, sett i forhold til nye og stadig endrede krav fra brukere, markedet og myndighetene.
Vedlikeholdskostnader (V)	Alle kostnader som er nødvendige for å opprettholde byggets fastsatte kvalitetsnivå slik at det kan benyttes til det tiltenkte formålet innenfor gitt brukstid. Omfatter også kostnader til utskiftning av enkeltkomponenter.
Årskostnad	Levetidskostnaden lagt ut over byggets brukstid (annuitet). Ikke det samme som årlige faktiske kostnader.
Årskostnadsfaktor (b)	Faktor som benyttes for å beregne annuiteten av levetidskostnadene til bygget over brukstiden, kalles også for "Annuitetsfaktor".

Det anbefales at det benyttes standard kostnadsposter som anbefalt i NS 3454 for å sikre konsekvente beregninger. NS3454 kontoplan består av hovedposter (1-6) samt to anbefalte tilleggsposter (7-8):

1. Kapitalkostnader
2. Forvaltningskostnader
3. Driftskostnader
4. Vedlikeholdskostnader
5. Utviklingskostnader
6. (Ledig)
7. Service-/støttekostnad til kjernevirksomheten
8. Potensiale i eiendom

2.1.3 Verktøy og databaser

De mest aktuelle og tilgjengelige LCC-verktøyene og -databasene per i dag i Norge er oppsummert i Tabell 3.

Tabell 3 – LCC-verktøy og -databaser

Navn	Beskrivelse
Excel regneark	Fungerer bra i mange tilfeller. Lett å tilpasse rammene rundt beregningene, og inneholder en rekke forhåndsprogrammerte formler.

LCCWeb	Et nettbasert LCC-verktøy utarbeidet av Statsbygg og Forsvarsbygg som følger NS 3454 (Statsbygg, 2012). LCCWeb er gratis å laste ned, men er tilgangsstyrt og krever opprettelse av brukerkonto. Beregningene kan gjøres på ulike detaljeringsnivå, og benyttes på alle typer bygninger og i alle faser av både planlegging og drift av bygget. En videreutvikling av tidligere LCProfit.
TidligLCC	Et nettbasert verktøy for å analysere kostnadene knyttet til oppføring, forvaltning, drift og vedlikehold av bygg utviklet av Difi og Byggemiljø (Byggemiljø, 2010). Verktøyet er lettere å bruke enn LCCWeb ettersom det kreves mindre inngangsdata.
Bygg Uten Grenser	Bransjeorganet for mur og betong tilbyr på sin nettside en "Livsløpskalkulator" der LCC enkelt kan kalkulerer for ulike veggkonstruksjoner (Byggutengrenser.no, 2012). Kalkulatoren gir muligheten til å enten benytte forhåndsdefinerte verdier eller å legge inn egendefinerte verdier.
Holte Byggsafe	<p>Holte Byggsafe kalkulasjonsnøkkel er Norges mest brukte kalkulasjonsverktøy. Dette er en oppdatert med over 35.000 priser fordelt på 29 fag som dekker både nybygg, ombygging og rivearbeider (Holte AS, 2012a). Kalkulasjonsnøkkel er et kostnadsbelagt abonnementsprodukt som fås både elektronisk og i papirformat.</p> <p>Holte Byggsafe FDV-nøkkel er en bok med nøkkeltall for effektiv bygningsforvaltning, herunder kostnadsdata knyttet til forvaltning, drift og vedlikehold (Holte, 2010).</p>
Nettverket nøkkeltall for benchmarking (NFB)	NFB er et nettverk i Norges Bygg- og Eiendomsforening, og tilbyr på sin nettside et databaseverktøy med nøkkeltall for FDVUS-kostnader (nfb.no, 2007). Dataen er registrert av medlemsbedrifter, og tilgang til verktøyet forutsetter medlemskap.
Norsk Prisbok	Norconsult tilbyr en oppdatert prisdatabase i bokform. Dette er et oppslagsverk med kostnader knyttet til alle fasene av byggeprosjekter (Norconsult, 2012). Boken er tilgjengelig gjennom en kostnadsbelagt abonnementsstjeneste.
OPAK	Prisstigningsrapporter som tar for seg FDV-kostnader knyttet til byggverk basert på prisindekser fra SSB (OPAK, 2012).
REPAB Fakta Vedlikeholdskostnader	Bok med priser på vedlikeholdskostnader basert på en tilsvarende svensk utgivelse og tilpasset norske NS 3451 (Incit AB, 2010).

2.1.4 Videre utvikling

Revidert utgave av "Lov om offentlige anskaffelser" kom i juli 2001, og bidrar til å fremme bruken av LCC. I § 6 stilles det krav om å "ta hensyn til livssyklus kostnader og miljømessige konsekvenser av anskaffelsen" (Lovdata, 2012b). Dette er kun krav ved offentlige anskaffelser, men har samtidig åpnet øynene for viktigheten av livssyklus kostnader også i det private markedet.

LCC er et område der det stadig pågår arbeid, både med tanke på klassifiseringen av livssyklus kostnader, og utviklingen av verktøy for LCC-analyser. Det er per i dag mange ulike måter å regne LCC på. Ulike verktøy benytter ulike kostnadsoppstillinger/kontoplaner og ulike begrep. Mangelen på en omforent ramme rundt LCC-analysene åpner for manipulering av resultatene og svekker LCC som analyseverktøy. Dette vanskeliggjør implementeringen av LCC i byggenæringen.

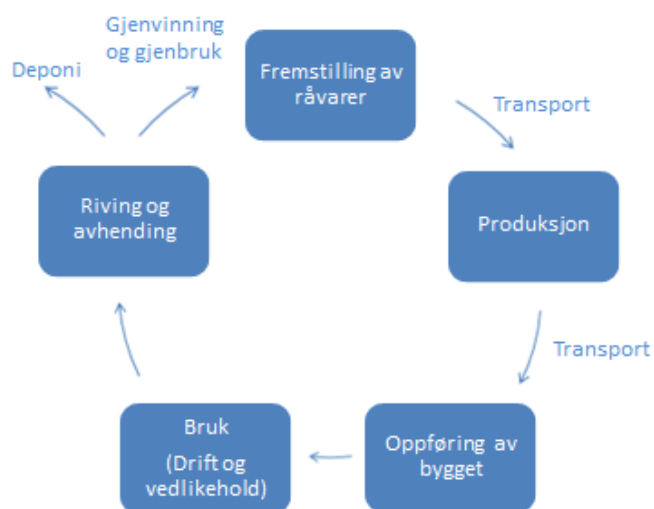
Et nordisk LCC-prosjekt ble igangsatt i 2002 for å utarbeide en felles nordisk modell for klassifisering av livssyklus kostnader (Gissiger, 2012). Dette utgjør noe av utgangspunktet for det pågående arbeidet med revisjon av gjeldende NS 3454, med hensikt å samordne kontoplaner og kodestrukturer etablert i ulike standarder og prosjekter (Standard Norge, 2012b). Revisjonen bygger på eksisterende NS 3454, som er tenkt utvidet i henhold til det nordiske klassifikasjonssystemet og tilpasset til den europeiske standarden EN 15221-4 Taxonomy. Dette innebærer blant annet at det åpnes for kortere vurderingsperioder enn den totale levetiden, i tråd bygningers dynamiske karakter og krav til tilpasningsdyktighet. Den nye standarden er ventet våren 2012.

Livssyklus kostnader har også fått økt utbredelse i den norske byggenæringen de siste årene, spesielt i forbindelse med næringsbygg. For å drive denne utviklingen fremover har LCC Forum blitt opprettet for å sørge for informasjonsflyt og samarbeid rundt livssyklus planlegging (LCC Forum, 2012). Forumet drives av en rekke bedrifter og foretak som representerer de ulike aktørene innen byggenæringen.

2.2 Miljøstyring – Livsløpsvurdering (LCA)

Det er en utbredt trend i Norge og mange andre land at det legges økende vekt på miljøvennlige produkter og prosesser. Dette har ført til et behov for å utvikle nye miljøvurderingsmetoder (Byggforsk, 2000).

LCA står for "Life Cycle Analysis" som har fått den norske oversettelsen livsløpsvurdering. Livsløpsvurdering er en metode for vurdering av miljøbelastninger til et produkt eller produktsystem (Standard Norge, 2006), herunder enkelte bygningskomponenter, materialer og komplette bygg. Metoden er nærmere beskrevet i "*NS-EN ISO 14040 – Miljøstyring – Livsløpsvurderinger – Prinsipper og rammeverk*". Livsløpsvurdering av bygninger behandles analogt med kostnader (LCC), der miljø- og ressurspåvirkningene til alle komponentene og prosessene som inngår i bygningen kartlegges og vurderes gjennom hele bygningens livsløp (Rønning, et al., 2011)(Figur 2).



Figur 2 – Bygningers livsløp ("vugge-grav")

2.2.1 Prinsipper for beregninger

LCA-studier består av 4 faser (Tabell 4) i henhold til definisjonen i NS-EN ISO 14040:

Tabell 4 – LCA-faser

Fase	Aktiviteter og beskrivelse (Byggforsk, 2000)
1	<p>Fastsettelse av hensikt og omfang</p> <p>Hensikten med analysen er basert på hvordan analysen skal benyttes og hvem målgruppen er. Dette blir videre avgjørende for omfanget av arbeidet.</p> <p>Studiens omfang bestemmes av:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Systemgrensen, som sier noe om hvilke prosesser som skal inkluderes. • Detaljeringsnivå. For bygninger kan det være aktuelt å operere på følgende nivå: bygningsmaterialer, komponenter, bygningsdeler eller byggverket, inkludert installasjoner. • Funksjonell enhet (FU) som angir en referansenhet basert på en kvantifiserbar prestasjon og gjør det mulig å sammenligne resultater. • Hvilke miljøfaktorer som skal inkluderes.
2	<p>Livsløpsregnskap (LCI)</p> <p>Består av å samle data for å skissere sammenhengen mellom og størrelsen på inngangs- og utgangsfaktorer. Deretter sammenstilles bidragene fra de ulike delprosessene i systemet for å finne den totale miljøpåvirkning per funksjonell enhet.</p>

3	Livsløpseffektvurdering (LCIA)	<p>En evaluering av miljøpåvirkningene gjennom klassifisering, karakterisering og vektning. Klassifisering går ut på å tilegne de ulike utslippene til relevante miljøpåvirkningskategorier. Videre bestemmes den relative påvirkningen til de ulike prosessene innen de aktuelle miljøkategoriene. For å gi en samlet vurdering av systemets miljøpåvirkning vektet miljøkategoriene i forhold til hverandre.</p> <p>Noen av de vanligste miljøkategoriene er blant annet: global oppvarming, uttømming av ressurser, nedbryting av ozonlaget, humantoksisitet, økotoksisitet, forsuring mm.</p> <p>Effektvurderingen kan gjøres etter ulike modeller og disse er stadig under utvikling. Generelt baserer metodene seg på påvirkninger på enten midt- eller endepunktnivå i en årsak-virkning sammenheng. Det er per i dag ingen konsensus om hvilke metoder som er mest egnet.</p>
4	Livsløpstolkning	<p>Resultatene fra livsløpsregnskapet og effektvurderingen samles og evalueres i forhold til fastsatt mål. Sentralt i denne fasen er å identifisere hvilke komponenter, prosesser og faser som bidrar mest til miljøpåvirkningene og å forstå konsekvensene av å foreta ulike valg i systemutformingen. På bakgrunn av dette kan konklusjoner og anbefalinger for mulige forbedringer av livsløpet utarbeides.</p>

Det er den første og siste fasen som er mest tidkrevende og utfordrende ettersom de to øvrige som regel utføres ved hjelp av et dataverktøy. LCA-prosessen er en iterativ prosess der fasene gjerne gjennomgås flere ganger før sluttresultatet presenteres.

I beregningene skilles det mellom direkte- og indirekte utslipp. Direkte utslipp forekommer innenfor det definerte planområdet der bygget er geografisk plassert. Indirekte utslipp opptrer utenfor planområdet. Det kan blant annet være utslipp som følge av produksjon av materialer, transport, elektrisitet og avfallshåndtering.

2.2.2 Anvendelse i bygningssammenheng

LCA gir et bedre grunnlag for å sammenligne ulike alternativer samt bidrar til mer miljøvennlig produkt- og prosessutvikling. Dette gjør at beslutninger kan baseres på en økt forståelse for de miljømessige konsekvensene, og inngår gjerne som et ledd i strategiutviklinger for prosjekter.

2.2.2.1 Bygg

LCA brukes mest til å vurdere konsekvensene av valg som allerede er tatt, men ved å inkludere slike analyser i tidligere faser er det større mulighet for å kunne påvirke bygningens miljøbelastning. Gode materialvalg, energieffektivitet, miljøvennlige energikilder og lang levetid er forhold som medvirker

til å redusere bygningers miljøbelastning. Det er dermed flere forhold som må sees i sammenheng for å avgjøre om prestasjonen er tilfredsstillende. Det er ingen definisjon av hva som ansees for å være akseptabelt, dette vurderes for hvert enkelt byggeprosjekt avhengig av mål og rammer.

For bygninger er klimagassutslipp og global oppvarming spesielt i søkelyset, i hovedsak knyttet til energibruk i bruksfasen. CO₂-faktorer/ekvivalenter angir de totale utslippene av klimagasser per enhet, veid i forhold til klimagassens relative påvirkning på den globale oppvarmingen (Andresen, et al., 2010). Det er vanlig praksis at klimagassutslipp angis i gram CO₂-ekvivalenter ettersom karbondioksid (CO₂) er den dominerende klimagassen.

Resultatene fra LCA-studier viser at mesteparten av energibruken og tilhørende klimagassutslipp i et livsløpsperspektiv er knyttet til bruksfasen (Rønning, et al., 2011). Utvikling i retning av stadig redusert energibehov betyr at energi til produksjon og transport av materialer, samt selve byggingen, vil utgjøre en stadig større andel av den totale energibruken. Sammen med økt bruk av fornybare energiresurser gjør dette at materialbruk vil utgjøre en stadig større andel av de totale klimagassutslippene.

2.2.2.2 Materialer og bygningskomponenter

Redusert energibruk til drift av bygg gjennom energieffektivisering fører gjerne til økt materialbruk, og dermed økt bidrag til det totale klimagassutslippet. Det er store forskjeller mellom utslippene fra de ulike materialene, i tillegg til at det er store forskjeller innad i materialgruppene.

I forbindelse med eksisterende bygninger blir innebygget energi i form av eksisterende materialer og bygningskomponenter også av betydning siden dette representerer store energimengder. Ved ombyggings- og rehabiliteringsprosjekt er det derfor viktig å ta vare på de elementene i eksisterende bygg som er verd å ta vare på for å redusere den totale miljøpåvirkningen gjennom livsløpet.

Forhold som har stor innvirkning på bygningskomponenters klimapåvirkning sett i et livsløpsperspektiv er (Rønning, et al., 2011):

- Hvordan det påvirker bygningens energibruk i driftsfasen
- Levetid (både for enkeltkomponenten og bygget som helhet)
- Produksjonsmetode (om det er fremstilt av jomfruelige resirkulerbart eller jomfruelige materialer, valg av energibærer til fremstillingen)

2.2.2.3 Miljødeklarasjoner - EPD

Bakgrunnen for miljødeklarasjon av byggevarer i Norge er krav i TEK 10 om at alle produkter som fremstilles og omsettes for bruk i bygninger skal ha dokumenterte egenskaper (Lovdata, 2012a). Det kreves at produktene skal tilvirkes med forsvarlig energibruk og med minimalt av forurensninger, men dette kravet er ikke tallfestet ytterligere. Miljødeklarasjoner, slik det er definert i ISO 14025:2006, er et kortfattet dokument som tallfester produktets miljømessige egenskaper gjennom dets livsløp (Byggforsk, 2010). Basert på denne standarden er det også laget en egen standard for

byggevarerprodukter: ISO 21930- "Sustainability in building construction - Environmental Declaration of building Products". Miljødeklarasjoner kalles også for EPD, en forkortelse for det engelske begrepet "Environmental Product Declaration".

Et av de viktigste bruksområdene for EPDer er i forbindelse med innkjøp. Miljødeklarasjonene dokumenterer miljøprofilen til produkter og er dermed med på å stimulere til mer miljøvennlige valg. De resulterer samtidig til en bevisstgjøring rundt miljøvennlige produkter blant produsentene. For at det skal være mulig å sammenligne ulike produkter er det utarbeidet produktspesifikke regler for de ulike produktkategoriene (PCR) (Rønning, et al., 2011). I henhold til ISO skal miljødeklarasjoner baseres på livssyklusanalyser av produktet, samtidig utgjør miljødeklarasjonene en stor del av datagrunnlaget for LCA-analyser av hele bygg.

2.2.2.4 Energikilder

Bruk av fossile energikilder til energiformål i bygninger er en sentral kilde til klimagassutslipp, og det er stort potensiale for å redusere disse utslippene ved å benytte fornybare energikilder. Det er store variasjoner mellom CO₂-faktorer for de ulike energikildene, og fossile brensler har generelt de høyeste utslippsfaktorene.

Bioenergi er den mest brukte fornybare energikilden i verden i dag. Bioenergi ansees for å være karbonnøytralt ettersom det i vekstperioden binder like mye CO₂ som frigjøres ved forbrenning. På bakgrunn av dette er biogen CO₂ ofte ikke inkludert i LCA-beregningene siden utslippene antas å gå i null sett over lengre tid (Cherubini, 2011). Det kan likevel stilles spørsmål ved om karbonnøytralt tilsvarer klimanøytralt ettersom, høsting av biomasser fører til en midlertidig reduksjon av jordens karbonlager og økt atmosfærisk CO₂ konsentrasjon.

Solenergi og vindenergi har til felles at de ikke slipper ut klimagasser i driftsfasen. Likevel er de ikke helt fritatt for klimagassutslipp, ettersom produksjonen av disse energisystemene ofte er energi- og ressurskrevende prosesser (Stømman, 2011). Dette gjelder også jord-, hav- og berg-varmepumper, men disse systemene krever også noe elektrisk energi for å drive varmeprosessen (Novakovic, et al., 2007).

Elektrisitet er per i dag den dominerende energibæreren i norske bygg, med en andel på over 87 % i 2009 (Enova Næring, 2011). CO₂-vekting av elektrisitet er et politisk hett tema i Norge som stadig er under diskusjon. Norge er et spesialtilfelle der hovedandelen av elektrisitetsproduksjonen er basert på vannkraft, som betraktes som CO₂-ren energi. Samtidig er det norske elektrisitetsnett koblet sammen med det Nordiske (Nord Pool), som videre er knyttet til det Europeiske. Her benyttes fossile brensler i større grad i elproduksjonen. Etterspørselen etter elektrisitet i Norge påvirker produksjonen i hele nettverket, slik at norsk elektrisitetsforbruk ikke uten videre kan betraktes som CO₂-nøytralt.

Fjernvarme er den nest mest dominerende energibæreren, og CO₂-faktor for denne avhenger av om det benyttes fornybare eller fossile energikilder i fjernvarmesentralen til oppvarming av

varmtvannet. Avfallsforbrenning sto i 2009 for omtrentlig 36 % av netto produksjon (Enova Næring, 2011), samtidig besto el- og oljekjeler for henholdsvis 19,3 % og 6,3 %. Mange fjernvarmeanlegg har i tillegg et parallelt fjernkjølenett. Kjøleenergien er gjerne et biprodukt ved fjernvarmeproduksjonen ved bruk av varmpumper, og det er også vanlig å ta i bruk frikjøling med for eksempel sjøvann.

2.2.2.5 Avhendingsfasen

Avhendingsfasen er den avsluttende fasen i bygningers livsløp, og innebærer gjerne demontering av hele eller deler av bygget. Hovedmålet i avhendingsfasen er å sikre mest mulig gjenbruk, i tillegg til en trygg forvaring av eventuelle miljø- og helsefarlige stoffer (Marton, 2008). Valget mellom gjenvinning, ombruk og deponering av de ulike bygningsmaterialene og komponentene kan få stor betydning for byggets totale miljøprestasjon.

Ombruk og gjenvinning representerer et stort potensial for energibesparelser til fremstilling av råvarer. Denne fasen utelukkes ofte fra LCA-beregninger på grunn av vanskelighetene ved modellering, siden dette er prosesser som i praksis er vanskelig å følge fra start til slutt. Denne problematikken kan løses ved bruk av allokering, der andelen bidrag fra de ulike prosessene fordeles på en bestemt måte. En mye brukt allokeringsmetode er total tildeling av miljøbelastningene til produksjon av primærproduktet (Byggforsk, 2000). Dette innebærer at det kun er belastningene fra gjenvinningsprosessen og tilførselen av jomfrumaterialer som tilegnes inneværende livssyklus.

Valg av deponeringsmåte får betydning for utslippsmengden fra materialavfall. Forbrenning kan nyttes til energiformål, og de følgende klimagassutslippene vil avhenge av hvilken energikilde den genererte energien erstatter (Rønning, et al., 2011). Rivemasser, bestående av for eksempel isolasjonsmateriale eller betong, kan i mange tilfeller benyttes til utfyllingsformål og dermed erstatte bruk av nye utslippsgenererende materialmengder. Materialer som sendes til deponi slipper ut gasser ved nedbrytning over tid. Store andeler av disse gassene er klimagasser som CO₂ og metan (Fokehelseinstituttet, 2006).

TEK 10 stiller krav til utarbeidelse av avfallsplan og miljøsaneringsbeskrivelse avhengig av byggeprosjektets omfang og genererte avfallsmengder. En avfallsplan er en oversikt over forventet byggeavfall i forbindelse med tiltaket. Det skal også redegjøres for planlagt håndtering og deponering av massene. Miljøsaneringsbeskrivelsen er en beskrivelse av helse- og miljøskadelige stoffer i det eksisterende bygget der farlig avfall kartlegges (Byggforsk, 2011). Utarbeidelsen av slike planer kan gi store miljømessige besparelser ved at det legger til rette for helse- og miljømessig håndtering. Utover dette kreves det i byggeforskriftene at bygget skal planlegges for en levetid som minimerer avfallsmengdene over livsløpet, og at det skal velges produkter som egner seg til ombruk og gjenvinning (Lovdata, 2012a). Det er også krav til at minst 60 vekt- % av avfallet som oppstår i byggeprosjektet skal sorteres i ulike avfallsfraksjoner og leveres til avfallsmottak eller til gjenvinning.

Det er i dag overveiende fokus på miljøkonsekvensene av energibruk i bygninger og de medfølgende klimagassutslippene. Dette er likevel kun en av mange miljøpåvirkninger knyttet til byggverk. Et problem ved slik ensidig fokus på et miljøaspekt er at andre forhold som kan være av stor betydning

oversees og forskyver problemer som faller utenfor prosjektets rammer. LCA-metodikkens rammeverk legger opp til et mest mulig helhetlig perspektiv, men det er likevel nødvendig å ha fokus på dette gjennom vurderingene for å unngå problemforskyvninger.

2.2.3 Databaser og verktøy

Gjeldende standard for LCA gir en beskrivelse av hva som skal inngå i beregningen, men sier ikke noe om hvordan beregningene skal gjennomføres, og hvilken data som skal legges til grunn (Holthe, et al., 2011). Det finnes per i dag mange ulike LCA-verktøy som tar i bruk ulike beregningsmetodikker, herunder ulike systemgrenser og miljøindikatorer. Generelt er det stort sprik i rammen rundt gjennomføringen av LCA. Dette gir spredte resultater, lite sammenlignbarhet og usikkerhet rundt konklusjonene.

Det er flere databaser for LCA-informasjon (LCI) tilgjengelig på markedet, likevel er data gjerne en begrensende faktor i analysen. I byggebransjen er det en enighet om at det er mangelfullt med tilgjengelig data, spesielt er det lite data for ulike bygningsmaterialer (SINTEF, 2011).

En oversikt over sentrale verktøy og databaser for LCA er presentert i Tabell 5.

Tabell 5 – LCA-verktøy og -databaser

Navn	Beskrivelse
SimaPro	Det mest brukte LCA-verktøyet i verden, og også innen byggebransjen (Holthe, et al., 2011). SimaPro er et modulbasert verktøy tilknyttet flere LCI databaser og kan derfor tilby ulike metoder for karakterisering av miljøpåvirkningene (MisA, 2012). Verktøyet er utviklet i Nederland og er tilgjengelig gjennom lisensavtaler.
LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)	Et klassifiseringssystem for vurdering av bygningers miljøprofil utviklet av U.S. Green Building Council (USGBC, 2012). Basert på de totale miljøbelastninger sett gjennom hele levetiden tildeles sertifikater på fire ulike nivå: sertifisert, sølv, gull og platina.
BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)	Europas ledende miljøklassifiseringssystem utviklet i Storbritannia. BREEAM er en helhetlig miljøklassifiseringsmetode for bygg, både nybygg og eksisterende bygg, som inkluderer flere avgjørende forhold i et miljøperspektiv. Basert på et totalt antall poeng innen 9 kategorier gis bygget en oppnådd karakter (Norwegian Green Building Council, 2012). BREEAM ble valgt fremfor LEED til bruk i Norge, dette har resultert i en Norsk tilpasning, BREEAM-Nor, som ble lansert i oktober 2011.

DGNB	DGNB er et sertifiseringssystem utviklet i Tyskland som ble lansert i 2008 (Alectia, 2012). Systemet er basert på europeiske normer, og rangerer bygningen innen 6 sentrale kategorier over hele bygningens livssyklus. På bakgrunn av en totalevaluering over hele livsløpet mottar bygningen sertifikat i enten gull, sølv eller bronse (DGNB, 2012).
Klimagassregnskap.no (KGR)	Et web-verktøy for overordnet klimaberegninger for bygg og byggeprosjekter (klimagassregnskap.no, 2012), utviklet av Statsbygg og CIVITAS. Verktøyet er bygget opp etter moduler, og spesialtilpasset bygningstype, materialtyper, faser etter de individuelle byggeprosjektene. Verktøyet er gratis, og tilgjengelig gjennom online registrering. Inngår som en del av dokumentasjonskravet i BREEAM-Nor.
Inventory of Carbon & Energy (ICE) Version 2.0 (UK)	Database som dekker de fleste bygningselementene og tilbyr god bakgrunnsinformasjon. Databasen består av et regneark med CO ₂ -verdier og er ikke tilknyttet et verktøy, kalkulasjonene må dermed gjøres manuelt (Rist, 2012).
EPD-register	EPD-Norge har på sine nettsider et register for miljødeklarasjoner (EPDer) for ulike produkter basert på ISO standard (EPD-Norge, 2012). Registeret omfatter blant annet byggevarer, møbler, energi, kjemikalier og emballasje.
Norsk prisbok	Gir CO ₂ -ekvivalenter for alle elementene i NS 3451 på tilsvarende måte som kostnader.
Idémat	En LCI database med fokus på produksjon av materialer (Pettersen, 2011). Inneholder LCI data, samt informasjon om materialenes egenskaper. Avgiftsbasert tilgang.
Ecoinvent	En av verdens ledende LCI databaser som dekker et stort spekter av produktkategorier. Avgiftsbasert tilgang.

2.2.4 Videre utvikling

Det er stadig større etterspørsel etter miljøvennlige produkter og byggverk, og dermed økt behov for måter å dokumentere slike egenskaper. Dette skyldes både strengere krav fra myndigheter og mer bevisste brukere.

Det er arbeidet mye med å utvikle LCA i den norske byggebransjen i de senere årene. Blant de viktigste tiltakene er etableringen av EPD-Norge – Næringslivets stiftelse for miljødeklarasjoner, i 2002. Deres visjon er å bedre miljøaspekter ved ulike produkter og tjenester og arbeider i tett samarbeid med sentrale aktører innen byggenæringen, herunder BNL, NHO, SINTEF og Statsbygg (EPD-Norge, 2012). Per i dag er det kun et begrenset antall EPDer registrert i henhold til ISO standard. EPD-Norge arbeider derfor også med opplysningsarbeid for å fremme miljødeklarerer blant produsentene. EPD-Norge er samtidig involvert i arbeidet med å etablere retningslinjer for valg av elektrisitetsmik og klimabelastning på elektrisitet (Holthe, et al., 2011)

Statsbygg er en pådriver for miljøvennlige byggverk innen byggenæringen. Som stor statlig byggherre og eiendomsforvalter går de foran som et godt eksempel ved å stille krav til EPDer ved valg av produkter og ved å implementere klimagassanalyser og -beregninger i alle sine prosjekter (Ryen, 2009).

SINTEF Byggforsk ser på LCA som et viktig verktøy innen planlegging av, samt utførelsen av bygging, rehabilitering og oppgradering av bygg i tiden som kommer (SINTEF, 2011). På bakgrunn av dette satte de i januar 2011 i gang prosjektet VISES (Verify and Improve SINTEFs Expertise in Sustainability) med hensikt å øke LCA-kompetansen i byggenæringen.

Forbildeprosjekter spiller en viktig rolle som lærearena og motivasjon for byggenæringen i målet om mer miljøvennlige bygg. To etablerte prosjekter, FutureBuilt og Framtidens Byer, jobber med å redusere klimagassutslipp i Norske bygg gjennom forbildeprosjekt. De stiller begge krav til dokumentering av prosjektbyggenes klimagassutslipp, blant annet ved bruk av verktøyet Klimagassregnskap.no.

Til tross for at det er mange aktører på banen og stor interesse for livsløpsvurderinger er det per i dag stort forbedringspotensial i den etablerte LCA-metodikken, og det må arbeides videre med å etablere en samordnet praksis for LCA i byggebransjen.

2.3 Komplet Livsløpsanalyse

I samfunn med økt fokus på bærekraft oppstår et stadig større behov for livsløpsplanlegging. Dermed blir det også behov for metoder for å se livssyklus-kostnader (LCC) og livsløpsvurderinger (LCA) under ett.

ISY Calcus er blant verktøyene som er kommet på banen i denne forbindelse. Dette verktøyet bygger også på ønske om å ta i bruk BIM. ISY Calcus bruker bygningers BIM som basis for å beregne kostnader. Dette åpner for mer utstrakt bruk av LCC i forbindelse med økende bruk av BIM i byggevirksomheten. ISY Calcus inkluderer også klimagassutslipp i sine kalkulasjoner som et ytterligere bidrag til tidligfase livsløpsvurdering.

CILECCTA er et EU-prosjekt som arbeider med å utvikle en programvare som er i stand til å gi en komplett analyse av både LCC og LCA (SINTEF, 2012). Programvaren har som mål å være kompatibel

med etablerte Europeiske pris-, miljø- og kostnadsdatabaser. CILECCTA-programvaren vil skille seg fra eksisterende programvarer ved at den inkluderer usikkerhetsvurderinger og har evnen til å modellere fleksibilitet.

2.4 Plusshus

Plusshus er et av de nyere og mest ambisiøse energikonseptene for bygninger. Plusshus omtales som bygninger som produserer mer energi enn de forbruker (Sørnes, 2010). Det er ingen fastsatt definisjon av plusshus, slik at det er store muligheter for prosjektspesifikke tolkninger. Et viktig skille er om definisjonen omfatter kun bruksfasen eller hele bygningens livsløp. Dersom plusshus defineres for bruksfasen medfører dette et krav til positivt energiregnskap i driftstiden. Det er også vanlig å kun betrakte energibalansen sett over ett år. Definisjoner som inkluderer energibruken gjennom hele livsløpet er mer omfattende og stiller krav til at det gjennom bruksfasen skal genereres mer energi enn det som totalt blir brukt til produksjon av byggevarer, oppføring, drift og avhending av bygget (Nordby, 2009). Utover dette stilles det ingen krav til hvilke energiposter i driftstiden som inkluderes i bygningens energibehov, og dette kan variere fra prosjekt til prosjekt.

Generelt ligger hovedfokuset på energien som brukes i driftsfasen ettersom dette representerer mesteparten av den totale energibruken. Samtidig går utviklingen i retning mindre energibehov i nettopp denne fasen slik at det blir viktigere å inkludere energibruk gjennom hele byggets livsløp. Plusshus i et livsløpsperspektiv inkluderer bundet energi som er av spesielt stor betydning i forbindelse med eksisterende bygninger. Ved rehabilitering og oppgradering kan energibruken minimeres dersom det etterstrebtes å ta vare på komponenter i det eksisterende bygget.

For å kunne oppnå plusshus er det nødvendig med så lavt energibehov som mulig. Plusshus tar derfor ofte utgangspunkt i passivhusstandard, som ansees å være en nedre realistisk grense for bygningers energibehov, men det er ikke krav om dette. Det er bred enighet om bruken av passiv energidesign ved utforming av plusshus, der fokuset er på å redusere energibehovet og effektivt bruk av levert energi. Alle plusshus har behov for tilførsel av energi ettersom det aldri vil være mulig å fjerne energibehovet fullstendig. Plusshus baserer seg derfor på lokal produksjon av energi, til både varme og elektrisitetsformål. Definisjonen av plusshus legger samtidig til grunn at energien må komme fra fornybare energikilder. På bakgrunn av dette kan plusshus sies å bestå av to elementer: Passiv energidesign og lokal produksjon av fornybar energi.

2.4.1 Passivhus og passiv energidesign

Passivhus-konseptet stammer fra Tyskland, men brukes også i Norsk bygningssammenheng. Passivhusinstituttet i Tyskland har etablert en funksjonsbasert definisjon (Standard Norge, 2010):

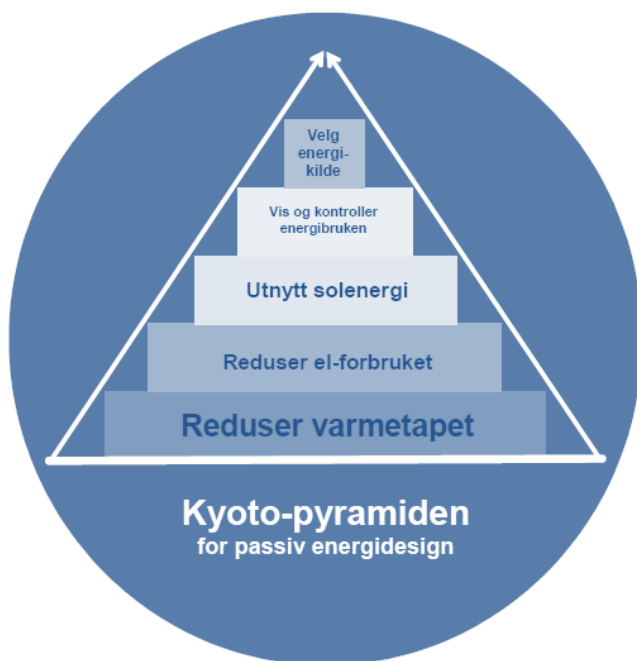
"Passivhus er bygninger som opprettholder et komfortabelt inneklima uten bruk av aktive systemer for oppvarmings- og kjølingsformål".

Ut i fra dette er det avledet tallfestede krav gjeldende for ulike bygningstyper og klimaforholdene. To hovedkriterier må oppfylles for at et bygg skal kunne kalles et passivhus (Standard Norge, 2010):

- Et maksimalt beregnet årlig energibehov til oppvarming $\leq 15 \text{ kWh/m}^2$ per år.
- Maksimalt effektbehov til oppvarming $\leq 10 \text{ W/m}^2$.

Det er for norske forhold per i dag kun utarbeidet en standard for Passivhus for boligbygg – "NS3700 – Kriterier for passivhus og lavenergihus – Boligbygninger". SINTEF Prosjektrapport 42 presenterer et forslag til en tilsvarende standard for yrkesbygg, og Standard Norge venter å ferdigstille en slik standard i løpet av første halvdel av 2012 (Standard Norge, 2012c). Samtlige tallverdier og tekniske spesifikasjoner er i denne sammenheng avledede størrelser basert på det funksjonelle kriteriet. Dette medfører at det ikke nødvendigvis er gjeldende for alle klima- og bygningstyper (Dokka, et al., 2009).

Passivhus baserer seg på noen nøkkelprensipp for reduksjon av energibehovet i bygninger, samt mer effektiv energibruk og omlegging til mer miljøvennlige energikilder. Dette omtales som passiv energidesign og kan illustreres med "Kyoto-pyramiden" (Figur 3), der det arbeides fra bunnen av pyramiden og oppover.



Figur 3 – Kyoto-pyramiden for passiv energidesign (Andresen, et al., 2010)

Sentrale elementer i det å oppnå en passivhusstandard er en bygningskropp som er godt isolert, med lite kuldebroer og luftlekkasjer, og med styrt ventilasjon med høyeffektiv varmegjenvinner.

2.4.2 Småskala energiproduksjon

Energien som tilføres pluss hus skal både produseres på eller i nær tilknytning til bygningen, og være fornybar. Energiproduksjonen skal tilføre bygget energi både i form av varme og elektrisitet (Nordby, 2009).

I utlandet er energiproduksjonen nærmest utelukkende basert på solenergi. Solfangere benyttes til oppvarming og varmtvann, mens solceller benyttes til generering av elektrisitet. I Norge er antall soltimer som regel ikke tilstrekkelig for å dekke hele behovet, men utgjør likevel et viktig bidrag. Også bruken av vindturbiner har vist seg utfordrende ved norske forhold. Utnyttelse av vindenergi ved bruk av vindturbinene er svært avhengige av lokale vindforhold, og forutsetter tilstrekkelig med vindressurser. Vindturbiner er en lite utprøvd teknologi i Norge i forbindelse med bygninger, men i for eksempel Storbritannia er det langt mer utbredt (Nordby, 2009).

Varmepumper kan benyttes for å utnytte energien som er tilgjengelig i omgivelsesvarmen. Dette gjelder blant annet vann, luft og grunn. Varmepumper forflytter termisk energi til et varmemedium som så kan benyttes til oppvarming av bygninger. Ved å reversere prosessen kan varmepumpen også brukes til kjøleformål. Varmepumper krever noe drivenergi i form av elektrisitet (Novakovic, et al., 2007).

Bioenergi er en mye brukt energikilde i bygninger i dag. Vanlige former for bioenergi er ved, pellets, gass og fyringsoljer. Selv om flere av disse ikke kan sies å være lokalt produserte energikilder, er de fornybare og ofte et nødvendig tilskudd for å oppnå plusshus (Nordby, 2009)

2.4.3 Utviklingen i Europa og Norge

Plusshus har fått økt oppmerksomhet i Europa de siste årene og det er eksempler på gjennomførte plusshusprosjekter i både Tyskland og Østerrike (Nordby, 2009). Mye tyder på at det vil være mye fokus på plusshus også fremover ettersom EU-parlamentet har lagt frem forslag om at alle nybygg fra 2019 skal ha et positivt energiregnskap.

Det er per i dag ingen bygde plusshus i Norge. De mest sentrale barrierene for gjennomføring av plusshusprosjekter i Norge er færre soltimer enn i Europa generelt, kaldt klima med lengre oppvarmingssesong, lave strømpriser og et regelverk som ikke legger til rette for småskala energiproduksjon. Norske energipriser har generelt ligget på et lavt nivå og dermed ikke gitt store incentiver for alternative energikilder. Lave energipriser gjør det også vanskelig å oppnå positive økonomiske regnskap for plusshus (Nordby, 2009).

Det kan skilles mellom to kategorier plusshus. De som ikke er tilknyttet et kraftnettverk og må ha et system for mellomlagre energi i overskuddsperioder, og plusshus som er tilknyttet kraftnett og dermed har muligheten til å både kjøpe og selge elektrisitet til nettet (Marszal, et al., 2011). Stabil energiforsyning forutsetter i prinsippet at bygget er tilknyttet et kraftnett for utveksling av energi, dette er vanskelig å gjennomføre med dagens norske regelverk. I Norge mangler både tillatelsene og løsningene for å levere strøm tilbake til strømmettet, noe som begrenser utviklingen av plusshus.

I utgangspunktet må systemer for energiproduksjonen som leverer spenning over 1000 V søke om konsesjon (Nordby, 2009). NVE har imidlertid gitt generell dispensasjon for plusskunder (Sørnes, 2010), noe som innebærer at lokale nettselskaper har mulighet til å kjøpe kraften fra bygg i perioder med overskuddsenergi. Dette er en frivillig ordning for begge parter noe som betyr at nettselskapene

ikke er pålagt å kjøpe elektrisiteten. Elektrisitetsutvekslingen kan hindres av at det mange steder ikke er bygget ut et nettverk som støtter mottak av strøm fra disse bygningene. Det må også søkes om tillatelse fra myndighetene dersom kommunens arealplan ikke er regulert til energiproduksjon i bygningens område (Nordby, 2009).

Til tross for at Norge ikke har kommet langt sett i forhold til resten av Europa har det også i Norge vært økende interesse rundt energieffektivisering og alternative energikilder, og det foregår mye forskning på området. To viktige instanser som holder til i Norge er ZEB og ZERO.

ZEB står for "Research Centre on Zero Emission Buildings" som holder til ved NTNU i Trondheim. ZEB er en av flere nasjonale organisasjoner som arbeider med forskning innen miljøvennlig energi, og skal bidra til utviklingen av gode teknologier samt øke norsk fagkunnskap innen området (ZEB, 2011).

ZERO er en Norsk miljøorganisasjon, opprettet i 2002, som arbeider for reduksjon av klimagasser og bærekraftig imøtekommelse av økende energibehov (Buch, 2011). ZERO jobber kontinuerlig med å samle kunnskap fra fagmiljøer som utvikler miljøløsninger, deltar i forbildeprosjekter, er i tett samspill med næringen og en sterk stemme innen klimapolitikken. I ZERO rapporten "Plusshus" konkluderes det med at det er mulig å bygge plusshus i Norge tross klimautfordringene, såfremt det baseres på flere forskjellige energikilder for å møte energibehovet (Nordby, 2009).

Enova tilbyr ulike støtteordninger til forbildeprosjekter, og flere av disse kan bidra til gjennomføringen av plusshus i Norge. Private husholdninger omfattes ikke av denne støtteordningen, men det gis støtte til et utvalg tiltak for private som ønsker å bedre boligens energiprofil (Enova SF, 2012).

3 Metode

I dette kapitlet redegjøres det for metode generelt, samt de spesifikke metodene som er brukt i oppgaven. Avslutningsvis diskuteres usikkerhetene som kan innvirke på oppgavens resultater.

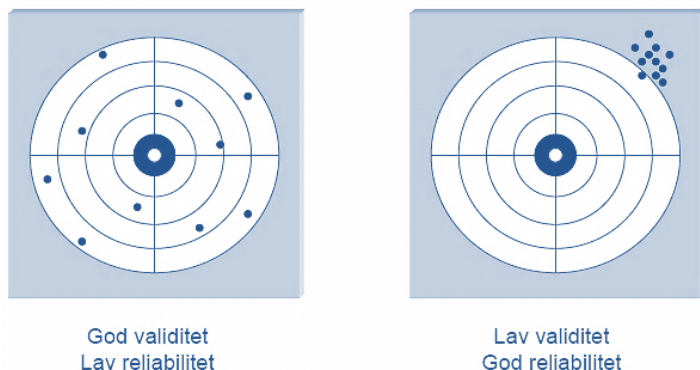
3.1 Tilnærming til metode

En metode kan defineres som måten data og informasjon fremskaffes. Metode danner grunnlaget for arbeidet med å besvare oppgavens problemstilling.

Det skiller mellom kvalitative og kvantitative metoder. Ved kvalitative metoder opparbeides kunnskap ved hjelp av forståelse og tolkning av teori. Resultatet er i form av ikke-parametriske, beskrevne data. En ulempe med metoden er at det er vanskelig å trekke konkrete slutninger, og resultatene avhenger i stor grad av subjektive tolkninger. Kvantitative metoder behandler informasjonen med målbare enheter istedenfor med ord. Slik parametrisk data er ofte nødvendig for å øke presisjon og troverdighet i resultatene. De to metodene brukes gjerne i kombinasjon, og supplerer hverandre. Kvantitative metoder gir god presisjon, men det er i tillegg nødvendig å ha tekstlig informasjon for å gi et helhetsbilde (Samset, 2008).

Metodebruken bør alltid sørge for kvalitetssikring av informasjonen. Validitet benyttes for å si noe om informasjonens godhet. Validitet er en betegnelse for gyldighet, og definisjonsmessig validitet sier noe om hvorvidt det er samsvar mellom virkelighet og tolkning. For at informasjonen skal være valid må to kriterier oppfylles: det må foreligge definisjonsmessig validitet, i tillegg må reliabilitet sikres. Reliabilitet innebærer at tolkningen er pålitelig, og kan understøttes av fakta (Samset, 2008). I motsetning til validitet, er informasjonens reliabilitet etterprøvbart.

I tidlige faser av prosjekter er det ofte nødvendig å basere vurderinger på kvalitativ informasjon i mangel på kvantitativ data. Mindre presis, beskrevet informasjon gir på dette stadiet større handlingsrom og muligheter for vurdering av flere alternativer. Samtidig innebærer dette mindre fokus og presisjon, og dermed større usikkerhet i forhold til hvor godt alternativene møter prosjektmålene. Det blir dermed en avveining mellom god validitet og reliabilitet (Figur 4).



Figur 4 – Validitet og reliabilitet - fokus versus presisjon (Samset, 2008)

Metodene som er benyttet i oppgaven er innledningsvis kvalitative i form av litteraturstudie og casestudie. Videre benyttes det kvantitative beregningsmetoder knyttet opp mot casestudiet.

3.2 Litteraturstudie

Denne masteroppgaven bygger delvis på prosjektoppgaven "Levedyktig energieffektivisering av eksisterende bygninger". Dette var et rent litteraturstudium, noe som innebærer at det ble foretatt en gjennomgang av tilgjengelig litteratur for å fremskaffe informasjon som uttrykker virkeligheten. I prosjektoppgaven ble mye av det teoretiske grunnlaget etablert. Innledningsvis i masteroppgaven ble det bygget videre på dette for å få ytterligere kunnskap innen tre sentrale områder: livssykluskostnader (LCC), livsløpsvurderinger (LCA) og plusshus.

Det er per i dag en rekke standarder knyttet til beregninger av LCC og LCA. De fleste av disse er gjeldende for Europa generelt, men det er også utarbeidet standarder tilpasset norske forhold. Rammeverket rundt energioppgradering er i stor grad landsspesifikt ettersom det er underlagt nasjonalt lovverk og avhenger av klimatiske forhold. Store deler av litteraturen på dette området er derfor hentet fra norske fagmiljø. Europeiske forhold er samtidig betraktet siden utviklingen innen passivhus er kommet lengre her enn i Norge.

For at litteraturen skal kunne benyttes i en vitenskapelig oppgave er det spesielt viktig med pålitelige kilder. Dette er sikret gjennom en kritisk filtrering av tilgjengelig litteratur. Det er i hovedsak benyttet skriftlige rapporter fra anerkjente personer og fagmiljø, blant annet SINTEF og ZERO. En rekke norske og europeiske standarder utgitt gjennom Norsk Standard er også benyttet.

Resultatet fra litteraturstudiet er presentert i teorikapittelet.

3.3 Casestudie

Casestudium er en metode for mer inngående studie av noen få prosjekter eller eksempler (Olsson & Sørensen, 2003). Casestudier knytter teori opp mot praksis, og gir en større forutsetning for å forstå

og anvende teorien. Dette er en kvalitativ metode ettersom de i stor grad bygger på fortolkninger av fremlagt informasjon.

I denne oppgaven sees det nærmere på en eiendom, bestående av to blokker, som skal oppgraderes til plussus. Dette er et ambisiøst prosjekt som danner et godt utgangspunkt for konsekvensvurderinger knyttet til store oppgraderingsprosjekt. Resultatene er til dels prosjektspesifikke og kan ikke anvendes på generell basis. Likevel inneholder oppgaven generell teori og generelle prinsipper med et bredere anvendelsesområde.

I casestudier er det gjerne vekt på forberedelsesarbeidet for å få god oversikt over det studerte objektet. Innledningsvis besto arbeidet med casebygget av en gjennomgang av tilgjengelig litteratur, befarings av bygget og en grov tilstandsanalyse for å kartlegge bygget. I tillegg ble dagens energinivå bestemt ved bruk av SIMIEN, et simuleringsprogram for dynamiske beregning av energibruk, effektbehov og inneklime i bygninger (programbyggerne.no, 2011a). Videre dannet dette grunnlaget for LCC- og LCA-beregninger av ulike alternativer for oppgradering av byggene.

Materialer og mengder er hovedsakelig basert på tilgjengelige tegninger (rømningsplan), samt fasaderapporter og egne observasjoner fra befarings av bygget. Noe mangel på pålitelig litteratur i forbindelse med casebygget førte til at det ble gjort forenklinger og antagelser. Disse er også delvis også basert på samtaler og eposter med involverte parter i Enova og Multiconsult. Oppmålte arealer ut i fra tilgjengelige rømningsplantegninger er benyttet gjennomgående i hele oppgaven grunnet noe sprikende arealdata blant tilgjengelig grunnlagsmateriale.

3.4 Livssyklus kostnader (LCC)

Det benyttes en manuell beregningsmetode basert på prinsippene og formelverket gitt i NS 3454. Denne standarden er under utvikling, men er per i dag den gjeldende standarden for LCC-beregninger i Norge. Beregningene utføres i Excel regneark. Dette verktøyet er valgt fordi det er lett tilgjengelig, intuitivt og lett å tilpasse de faktiske rammene rundt prosjektet. Excel inneholder også forhåndsdefinerte formler som benyttes som hjelpemiddel.

3.4.1 Kostnadsoppstilling og beregningsnivå

Kostnadsoppstillingen følger standard kontoplan i NS 3454 for å lette sammenligning med andre kalkyler. Kontoplan benyttes for å gruppere kostnadspostene, og angis med nummer etter nivå i kalkylen. Prosjektkostnadene er ytterligere inndelt i underkontoer i henhold til NS 3453 «Spesifikasjon av kostnader i byggeprosjekt», der hovedkontoene følger NS 3451 – "Bygningsdeltabellen".

I hovedsak gjennomføres beregningene på et 2-sifernivå. Dette gir en overordnet kalkyle, og er vanlig å benytte innledningsvis i prosjekter. Dette beregningsnivået ansees som tilstrekkelig for å gi et godt bilde av prosjektets FDVU-kostnader. Prosjektkostnadene beregnes på et mer detaljert nivå, ved kalkyle med basis i estimerte mengder og forventet pris per enhet. Dette omtales gjerne som elementprismetoden.

3.4.2 Databaser nøkkeltall

Det er valgt å benytte en kombinasjon av nøkkeltall fra flere kilder og databaser for å oppnå en mest mulig komplett kalkyle. Databaser er valgt på bakgrunn av tilgjengelighet og deres anerkjennelse og bruk i byggebransjen.

Aktuelle deler av kalkulasjonsnøkkelen er tilgjengelig gjennom programvaren HolteProsjekt Anbud (Holte AS, 2012b) og Holte Prosjekt Budsjett (Holte AS, 2012c). I anbud kan det gjøres oppslag i kalkulasjonsnøkkelenes blå sider (elementer iht. NS3451), samt de grønne sidene (delytelser iht. NS 3420). Elementsidene angir priser på ulike arealtyper, og er satt sammen av prisene på samtlige delytelser som inngår. Kalkulasjonsnøkkelen er bygd opp av enhetspriser, disse består av enhetskostnader (selvkost) samt et påslag. Påslaget, som i databasen er satt til 20 %, skal dekke faste kostnader, usikkerhet i datagrunnlaget og fortjeneste. Enhetskostnadene er bygget opp av materialkostnad, arbeidskostnad og UE-kostnad. Rigg- og driftskostnader er ikke inkludert i enhetsprisene (Holte, 2010). I Holte Prosjekt Budsjett gis tilgang til kalkulasjonsnøkkelenes røde sider. Disse angir arealpriser per byggtipe, eksklusiv tomtekostnader og sikkerhetsmarginer. Prisene i den benyttede databasen er basert på prisnivået for det sentrale Østlandsområdet per 1.5.2012, og oppgis eksklusiv merverdiavgift. Kalkulasjonsnøkkelen inneholder priser på mange grunnleggende bygningsmessige komponenter, men få priser knyttet til tekniske anlegg og installasjoner. I tillegg inneholder den priser knyttet til ombyggingsprosjekter, herunder rivekostnader.

Norsk Prisbok består av tre hoveddeler på ulike byggespesifikasjonsnivå; modellnivå (bygningstyper), elementregister (arealtyper) og prisregister (bygningssdeler) (Norconsult, 2010). Element- og prisregisteret korresponderer til henholdsvis elementer og delytelser i kalkulasjonsnøkkelen. Enhetsprisene er bygget opp av materialer, UE- og arbeidskostnader, samt en påslagsprosent for hver av disse, på henholdsvis 12 %, 10 % og 11 %. På alle nivå kan oppgitte priser betraktes som gjennomsnittspriser, og det bør foretas justeringer for spesielle forhold ved det aktuelle byggeprosjektet. Boken er bygget opp etter kontoplanen i NS 3451, og prisene er basert på østlandspriser per august 2010. Enhetsprisene er eksklusiv merverdiavgift. Boken inneholder priser på flere nyere, og mer avanserte, bygningskomponenter, samt flere priser på tekniske anlegg og installasjoner.

Det er også hentet priser fra REPAB Fakta Vedlikeholdskostnader. Prisene er kodet etter NS 3451, og gis også en mer detaljert egendefinert kode. Enhetsprisene inkluderer arbeidskostnader og materialkostnader. Arbeidskostnadene er basert på gjennomsnittlig norsk vedlikeholdsarbeid av normal størrelse, og forutsatt en forholdsvis stor bestiller (Incit AB, 2010). Materialkostnadene er basert på standard utførelse. Hvilke aktiviteter som inkluderes spesifiseres ytterligere for hver av enhetsprisene. Prisene er basert på et prisnivå per november 2010, og oppgis eksklusiv merverdiavgift. REPAB-boken inneholder kostnader knyttet til vedlikehold og utskifting av bygningskomponenter. Dette er spesielt relevant i forbindelse med oppgraderingsprosjekt der store deler av prosjektkostnadene er knyttet til utskiftninger.

Det hentes inn priser fra leverandører der det ikke er tilstrekkelig informasjon eller priser i de overnevnte databasene.

Øvrige kostnadsposter er basert på erfaringstall og prosjektspesifikke data. En sentral kilde har vært Multiconsults erfaringsdatabase som er bygd opp av tall fra gjennomførte og pågående prosjekter. Erfaringstallene er meddelt muntlig over telefon med Siv. Ing. Christian Listerud, Rådgiver i Eiendomsledelse hos Multiconsult, og bekreftet på mail i etterkant. Samtlige nøkkeltall fra denne erfaringsdatabasen er oppgitt inklusiv merverdiavgift.

Det er gjennomgående gjort vurderinger av nøkkeltallenes relevans, og gjort tilpasning til det aktuelle byggeprosjektet der dette har vært nødvendig. Det fremgår tydelig av beregningene der det er gjort justeringer og hvilke databaser som er benyttet.

3.4.3 Justering av nøkkeltall

Som nevnt justeres elementprisene for å tilpasses det aktuelle byggeprosjektet. I henhold til Holte Byggsafe må det gjøres justeringer for følgende forhold (Holte, 2010):

3.4.3.1 Geografisk betingede

Statlige avgifter, avstandsfaktorer, klima og effektivitet er avhengig av byggets beliggenhet. Det gjøres ingen justeringer av dette her ettersom casebygget ligger innenfor benyttet referanseområde, sentrale Østlandet, i databasene for nøkkeltall.

3.4.3.2 Størrelsesfaktorer

Større prosjekter åpner for gjentakelseeffekter og kvantumsrabatter. Prisene i databasene er oppgitt for bygg med en referansestørrelse, og bør justeres til å passe størrelsen til det aktuelle bygget. De største utslagene skjer for bygg over 3 000 m² og under 1 000m². Samtlige nøkkeltall antas å være representative for casebygget som ligger innenfor dette intervallet.

I tillegg kan det gjøres justeringer av enhetspriser avhengig av elementets størrelse. Størrelsesfaktoren multipliseres med tidsforbruket for å tilpasse det til omfanget av arbeidet. Dette er fordi større mengder vil åpne for effektiviseringsmuligheter og dermed redusert tidsbruk per enhet. I de anvendte databasene er det kun kalkulasjonsnøkkelen som oppgir separate størrelsesfaktorer for elementer, og det oppgis ingen størrelsesfaktorer for delytelser. På bakgrunn av dette er det ikke gjennomgående grunnlag for å foreta justeringer av enhetsprisene.

3.4.3.3 Lokale faktorer

Bygget og tomtens karakter påvirker tilgjengelighet og effektivitet i byggeperioden, og mange faktorer inngår i vurderingen:

- Casebyggets grunnforhold er ikke kjent, dette utgjør en risiko for uforutsette problemer ved bruk av tunge anleggsmaskiner og ved arbeid i grunnen

- Riggforholdene er vanskelige siden det skal foregå virksomhet i øvrige bygg rundt det aktuelle bygget
- God tilgjengelighet på grunn av nærhet til motorvei
- Middels etasjeantall medfører ingen spesielle vanskeligheter
- Byggene er tilrettelagt for tekniske installasjoner ettersom mange av disse allerede er installert i bygningen, og skal kun skiftes ut

Overnevnte faktorer vil påvirke prisene i begge retninger, og det gjøres derfor ingen justeringer her.

3.4.3.4 Markedsfaktorer

Markedssituasjonen er veldig konjunkturfølsom, og varierer avhengig av konkurransesituasjonen, arbeidsmarkedet og byggemarkedet. Det gjøres justeringer av enhetspriser etter SSBs byggekostnadsindeks, samt basert på fagkyndiges vurderinger av kostnadsnivå.

Byggekostnadsindeksen angir årlig prisstigning på bygningskomponenter og byggearbeider. Dette benyttes for å justere oppgitte priser til samme tidspunkt, i denne oppgaven anvendes priser per 2012. Byggevareindeksen viser en gjennomsnittlig økning på 5 % per år (Listerud, 2012a). Erfaringsvis er prisene i HolteProsjekt lavere enn faktiske priser på byggemarkedet, og justeres derfor opp med omtrentlig 20 % (Listerud, 2012b).

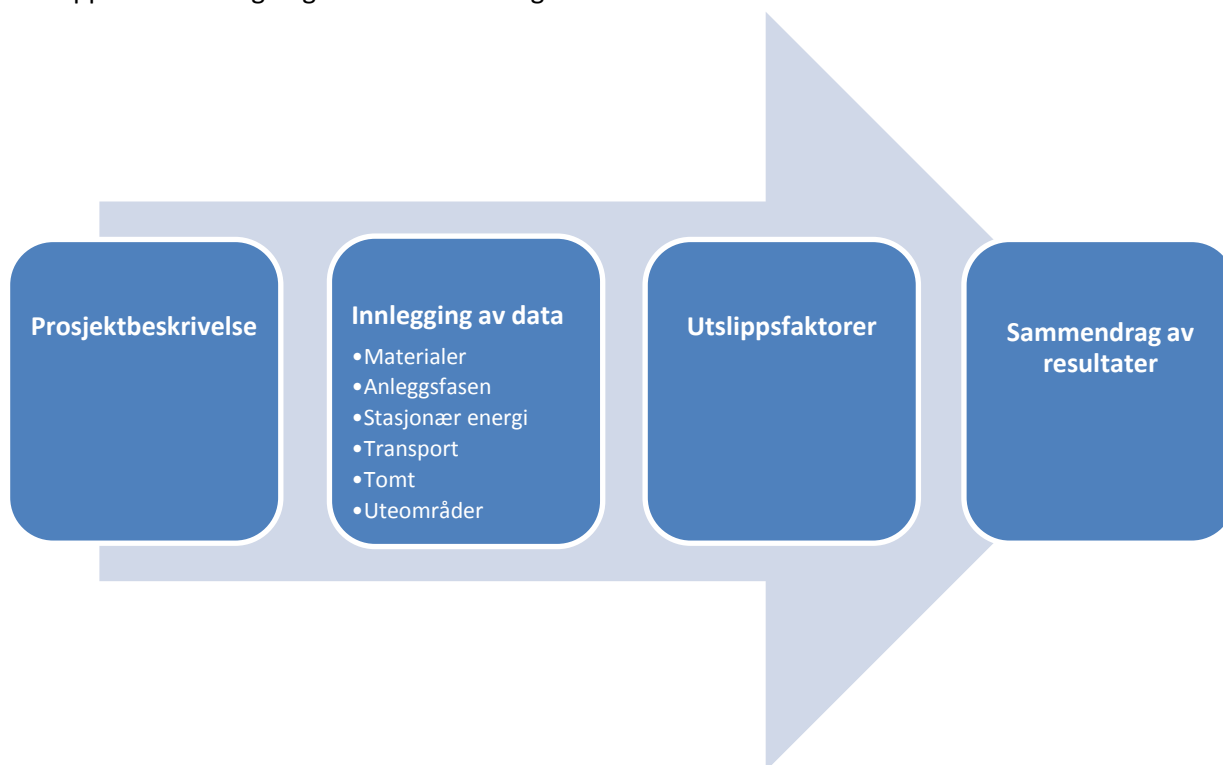
3.5 Livsløpsvurdering (LCA)

Det er flere tilgjengelige verktøy for LCA, men mange av disse har høy brukerterskel, begrenset tilgang for uprofesjonelle aktører, samt er lite tilpasset byggeprosjekter. I oppgaven er det web-baserte verktøyet klimagassregnskap.no (KGR) valgt til LCA-beregningene. Dette er et godt etablert verktøy som kan benyttes på alle byggeprosjekter, inkludert oppgraderingsprosjekter. I oppgaven benyttes versjon 4 av KGR. Denne versjonen er på beregningstidspunktet ikke offisielt lansert siden det gjenstår noe kvalitetssikring. Det har blitt gitt tilgang til versjon 4 for denne oppgavens formål. Versjon 4 er en videreutvikling av metodikken og modellen som først ble lansert i 2007. Den siste versjonen inneholder ingen metodiske forskjeller, men en rekke praktiske forbedringer.

3.5.1 Om klimagassregnskap.no

KGR er et verktøy for livsløpsberegning av de totale klimagassutslippene til bygg (Selvig, et al., 2009). Det gir kun en begrenset analyse ettersom kartleggingen er på noe overordnet nivå, og betrakter utelukkende klimagassutslippene. Både indirekte og direkte utslipp gjennom hele byggets levetid beregnes.

Prinsippene for beregninger i KGR er vist i Figur 5:



Figur 5 – Beregningsgangen i KGR

3.5.1.1 Prosjektbeskrivelse

Innledningsvis må det gis en beskrivelse av prosjektet og bygget, samt definering av rammene rundt beregningene. I modellen er levetiden satt til 60 år, og den funksjonelle enheten er selve bygget og bruken av det (Selvig, et al., 2011). Modellen bygger på livsløpstenkning, og en "vugge til grav" tilnærming. Dette betyr at systemgrensen i prinsippet inkluderer utslipp i alle ledd, fra råvare, til ferdig produkt og til avhending ved endt livstid. Per i dag er det avsluttende leddet som omhandler utslipp fra håndtering av avfall ikke inkludert i beregningene.

3.5.1.2 Innlegging av data

Modellen består av 4 hovedmoduler: *materialer* i bygget, *anleggsfasen*, *transport* under drift av bygget og *stasjonær energi* under drift av bygget (Selvig, et al., 2009). To av disse er videre delt inn i delmoduler. Materialmodulen er delt inn i *tidligfase planlegging* og *prosjektert*, mens modulen for stasjonær energi er inndelt i *nytt bygg* og *eksisterende bygg*. I tillegg er det egne moduler for tomt og uteområder. Modulene kan benyttes samlet eller enkeltvis, uavhengig av hverandre (Selvig, et al., 2011). Det ligger en rekke standardverdier i modellen som utgangspunkt, men det er også mulig å foreta justeringer av disse eller å legge inn prosjektspesifikk data.

3.5.1.3 Utslippsfaktorer

Beregningen av klimagassutslipp gjøres etter følgende formel:

$$\text{Aktivitetsdata (innsatsfaktor)} \times \text{Utslippsfaktor} = \text{Klimagassutslipp (CO}_2\text{ – ekv.)}$$

Innlagt data kobles her opp mot definerte utslippsverdier i modellen. Modellen gir mulighet til å velge mellom tre ulike klimagassbelastning for elektrisitet: "EU-referanse", "2-graders-målet" og "0-nivå". De to første alternativene er basert på en dynamisk modell med gradvis reduksjon av klimabelastning for elektrisitet over tid (Selvig, et al., 2011). Disse to alternativene benytter en snittverdi ut i fra en lineær reduksjon fra dagens nivå til null utslipp i henholdsvis år 2100 og 2054 i tråd med uttalte politiske mål.

3.5.1.4 Presentasjon av resultater

Resultatene presenteres både som CO₂-ekvivalenter over en levetid på 60 år, og fordelt på antall m² oppvarmet bruksareal. Resultatene oppgis både for hver modul og samlet sett for bygget som helhet. Sammenbraget vil gi informasjon om hvilke faser og komponenter som bidrar til de største utslippene.

Det er mulig å foreta justeringer i opprettet prosjekt for å få nye beregninger, samt å kopiere hele prosjekter eller delmoduler slik at det kan utarbeides alternativer kun ved mindre justeringer i modellen.

3.5.1.5 Svakheter og styrker

Den siste utgaven av modellen innebærer forbedringer på flere områder, inkludert forbedret brukergrensesnitt (Selvig, 2012a). Modulen for stasjonært energibruk har gjennomgått en rekke oppgraderinger, herunder mulighet for håndtering av systemvirkningsgrader og kjøling, samt revisjoner av utslippsfaktorer. Reiselivsdata i transportmodulen er også oppdatert til 2009verdier.

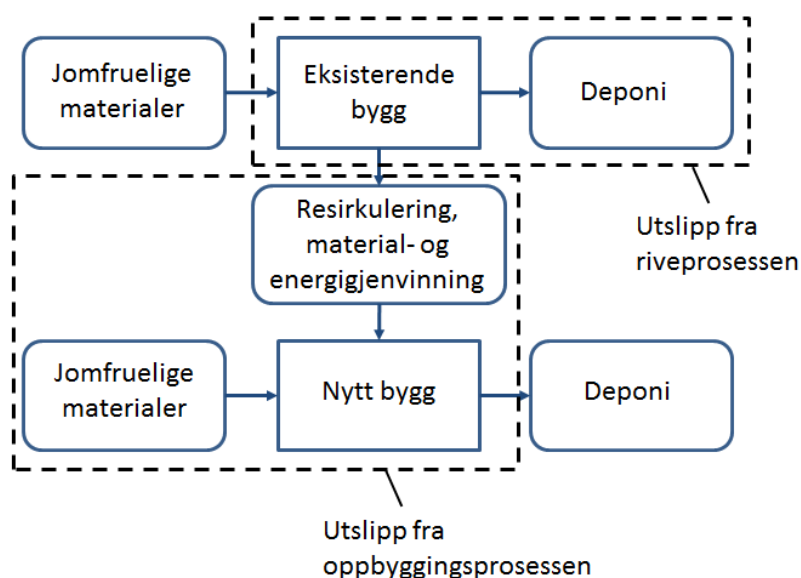
Modellen er stadig under utvikling da det fortsatt er stort potensial for forbedringer. Tidligere har den største svakheten ved modellen vært knyttet til en ufullstendig materialmodul. Dette er vesentlig forbedret i den siste versjonen. NTNU har vært den største bidragsyteren ved utarbeidelsen av den nye materialdatabasen. Forbedringen innebærer at alle utslippsfaktorer er oppdatert med nyeste data, og antall materialvarianter er doblet. Modellen har per i dag fortsatt ingen egen modul for materialene som inngår i tekniske anlegg (Selvig, et al., 2011). Erfaringsvis har dette utgjort en liten andel av de totale utslippene. Ettersom dagens bygg har økende grad av tekniske systemer og lavere energibruk vil likevel tekniske anlegg utgjøre en større andel av de totale utslippene i tiden fremover.

Modellen inkluderer ikke avhendingfasen, og gir dermed ikke en komplett kartlegging av klimagassutslipp fra "vugge til grav". Dette innebærer blant annet at byggeavfall fra riving ikke inkluderes, noe som utgjør vesentlige bidrag i mange oppgraderingsprosjekt.

3.5.1.6 Systemgrense for avhendingfasen og byggeavfall

Det er mange ulike måter å sette systemgrensen for byggeavfall, og dette er bestemmende for hvilke utslipp som tilskrives det aktuelle prosjektet. Det oppstår ofte allokeringproblematikk når det er

snakk om flere prosesser som påvirker hverandre. I denne oppgaven løses allokeringproblemet ved å definere systemgrensen som illustrert på Figur 6. Denne figuren er basert på prinsippet som ble presentert i en artikkel i "Journal of Industrial Ecology" (Bohne, et al., 2008).



Figur 6 – Systemgrense for utslipp i avhendingsfasen

Det er her i prinsippet to ulike system, ett som omfatter riving av deler av det eksisterende bygget og ett for gjenoppbyggelsen av bygget. Disse to prosessene bidrar begge med utslipp, og til sammen utgjør de det totale utslippet fra oppgraderingsprosjektet. De to systemene er koblet ved at materialer som sendes til gjenvinning etter riveprosessen i teorien kan inngå som nye materialer i oppbyggingsprosessen.

Utslipp fra oppbyggingsprosessen inngår i KGR sin materialmodul. KGR tar ikke hensyn til riveprosessen, og derfor gjøres det en overordnet beregning av utslipp fra denne prosessen separat. Dette kommer som et tillegg til resultatene fra KGR. Data for utslippsmengder er hentet fra EcoInvent-databasen gjennom programvaren SimaPro7. ReCiPe Midpoint-metoden ble benyttet, med et "Hierarchist"-perspektiv. Databasen gir karakteriseringsverdier for ulike prosesser, herunder avfallshåndtering. Til denne oppgavens formål ble det hentet ut karakteriseringsverdier for klimaendringer som oppgis i kg CO₂-ekv per kg materiale.

Det er opp til prosjektets ledelse å bestemme hvordan de ulike avfallsfraksjonene skal håndteres. Ved beregningene gjøres det noen overordnede antagelser om hvilke avfallsfraksjoner som sendes til deponi, og hvilke som sendes til gjenvinning og resirkulering.

3.6 Usikkerheter

Usikkerhet er mangel på kunnskap om fremtiden (Samset, 2008). Usikkerhet innebærer at det oppstår en differanse mellom mengden nødvendig og tilgjengelig informasjon ved

beslutningstidspunktet for å kunne ta en sikker beslutning. Flere parametere endrer seg over tid, og det er gjerne vanskelig å gi en presis fremtidsprognose. Dette medfører en risiko for feil i resultatene.

Det skilles mellom usikkerhet som er knyttet til organiseringen av prosjektets gjennomføring, *operasjonell usikkerhet*, og den som avhenger av prosjektets omgivelser, *kontekstuell usikkerhet*. Den største utfordringen ligger ofte i den kontekstuelle usikkerheten, som er utenfor prosjektets handlingsrom, og kan dermed være vanskelig å begrense. Generelt øker usikkerheten med prosjektets kompleksitet, og dersom det arbeides utenfor kjente felt (Samset, 2008).

Isolert sett kan usikkerhetene være små, mens de samlet sett medfører store feil. Det totale utslaget på resultatene er ulikt for systematiske og usystematiske usikkerheter. *Systematisk usikkerhet* virker på samme måte, eller i samme retning, på flere elementer og vil totalt sett kunne gi store avvik fra forventede resultater. *Usystematisk usikkerhet* påvirker derimot elementene enkeltvis og kan slå ut i flere retninger (Samset, 2008). Over tid går denne typen usikkerhet gjerne i null og kan neglisjeres. Ved beregningene i denne oppgaven er det derfor i hovedsak systematisk usikkerhet som er av betydning.

Ulike inputparametere vil få ulikt utslag på resultatene ettersom noen er viktigere enn andre. I de følgende avsnittene oppsummeres usikkerhetsforholdene som ansees for å være de viktigste i oppgavens beregninger.

3.6.1 Levetider

Valg av levetid er viktig for både de økonomiske og miljømessige konsekvensene som følge av et byggeprosjekt, og utgjør en viktig del av informasjonsgrunnlaget ved livsløpsberegninger. Mangel på gode levetidsdata og vedlikeholdsintervaller er den største barrieren for mer utstrakt bruk av livssykluskostnader da denne dataen er avgjørende for fastsettelse av verdier i beregningene. (Byggforsk, 2004).

Levetiden til et bygg defineres som "*den tiden det tar før bygget eller dens deler ikke lenger tilfredsstiller gitte minimumskrav*" (Kampesæter, et al., 2009). Minimumskravene kan være knyttet til tekniske egenskaper, funksjon, økonomi og estetikk, og dette gir opphav til flere ulike typer levetider. Levetid er ikke en innebygget egenskap, men bestemmes av ytelsens variasjon over tid (Byggforsk, 2004). Levetiden bestemmes av den ytelsen som først går under akseptabelt nivå.

3.6.1.1 Etablering av levetidsdata

Per i dag er levetidsdata i stor grad basert på erfaringer, samtidig er både registrering og bruk av erfaringsdata mangelfull i byggebransjen. Levetidsdata har generelt blitt benyttet på en usystematisk måte der ulike aktører opererer med egne metoder. Dette vanskeliggjør sammenligning, og gir store variasjoner og usikkerhet i benyttede verdier. Det vil aldri være mulig å angi eksakte levetider, men det er likevel stort potensiale for å forbedre tilgjengelig levetidsdata.

Levetidsdata skaffes gjennom observasjon og måling av nedbrytningen ved lang- eller korttidseksponering (Byggforsk, 2004). ISO 15686-serien av standarder for beregning av levetider står sentralt i levetidbestemmelsen. Standarden anbefaler bruken av estimert levetid ved planlegging og prosjektering av bygg. *Estimert levetid* er basert på tilgjengelig levetidsdata (referanselevetider), som er tilpasset det aktuelle prosjektet. Erfaring og ekspertvurderinger er en forutsetning for estimering av levetider.

I praksis er levetider en stokastisk variabel som kan ha mange fordelinger, og det er derfor vanskelig å angi enkeltverdier. Ofte oppgis levetidene som kort, middel eller lang avhengig av byggets påvirkningsforhold i forhold til et normalnivå. Bestemmelse av levetider blir med dette basert på subjektive vurderinger og det kan være vanskelig å oppnå tilstrekkelig sikkerhet i valgte verdier.

3.6.1.2 Usikkerheter rundt valg av levetider

Levetiden på en bygningsdel påvirkes av mange faktorer, herunder materialtekniske egenskaper, design, utførelse, påkjenninger fra klima og brukere, samt hyppigheten og kvaliteten på vedlikehold (Bjørberg, et al., 2007). Hver av disse faktorene er forbundet med noe usikkerhet, slik at den totale usikkerheten kan bli betydelig.

Vedlikehold vil ha stor innvirkning på levetider til enkeltkomponentene. Dersom det ikke utføres vedlikehold vil det føre til kortere levetid enn antatt (Kampesæter, et al., 2009). Per dags dato er det lite tilgjengelig informasjon om intervaller for vedlikehold og utskiftning av bygningsdeler.

Samvirke mellom komponenter med ulike levetider kan påvirke levetiden i praksis. Strukturelle komponenter har gjerne lang levetid, og antas som permanente gjennom byggets prosjekterte levetid. Installasjoner, planløsning og innredning vil derimot gjerne gjennomgå rehabilitering eller skiftes ut underveis (Kampesæter, et al., 2009). Dersom komponenter henger sammen og ikke gir mulighet til uavhengige endringer blir den korteste av deres levetider dimensjonerende.

Behov for tilpasningsdyktighet, endrede krav fra brukere og myndigheter og den teknologiske utviklingen påvirker bygningens funksjonelle levetid (Kampesæter, et al., 2009). Den funksjonelle levetiden er gjerne kortere enn den tekniske, og med en utvikling i retning av økt andel av tekniske systemer og innredning er det ofte den funksjonelle levetiden som blir bestemmende. Det blir følgelig mer aktuelt å snakke om brukstid fremfor levetid.

Bestemmelse av brukstid gjøres gjerne på grunnlag av typen bygg og dens kjernevirksomhet, grad av tilpasningsdyktighet samt en vurdering av levetiden til de ulike bygningskomponentene (Multiconsult, 2006). Store usikkerheter i levetidsdata kombinert med vanskelighetene med å forutsi fremtidige krav gjør at det er stor risiko for at det benyttes feilaktige analyseperioder.

3.6.2 Kalkulasjonsrente

Kalkulasjonsrenten uttrykker avkastningskravet som stilles til en investering, og benyttes i lønnsomhetsvurderinger for å beskrive alternativkostnaden ved investeringen i prosjektet. Det er

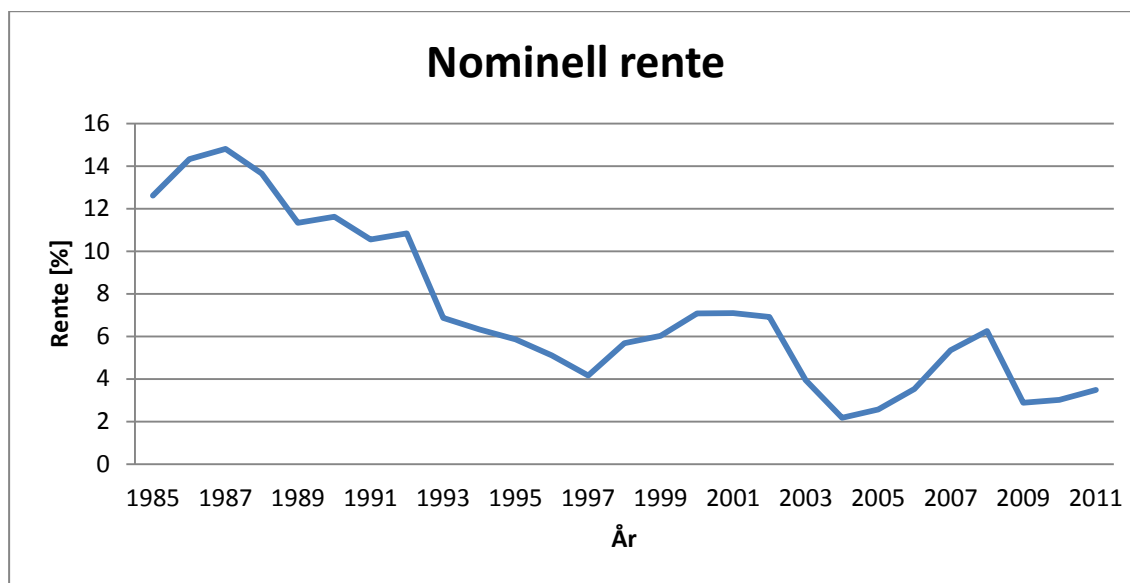
ofte vanlig å regne i faste priser, og det må da benyttes realrente i beregningene. *Realrenten* er den nominelle renten justert for generell inflasjon (prisstigning) (Novakovic, et al., 2007). Den *nominelle* renten uttrykker det aktuelle rentenivået i markedet. Den nominelle renten som benyttes vil avhenge av hvor mye egenkapital og lånesikkerhet låntageren kan stille med, men bankens styringsrente benyttes ofte som utgangspunkt.

Beregningen av realrente kan gjøres etter formelen (Standard Norge, 2000):

$$Realrente = \frac{(Nominell\ rente - Prisstigning)}{(1 + Prisstigning)} \cdot 100\%$$

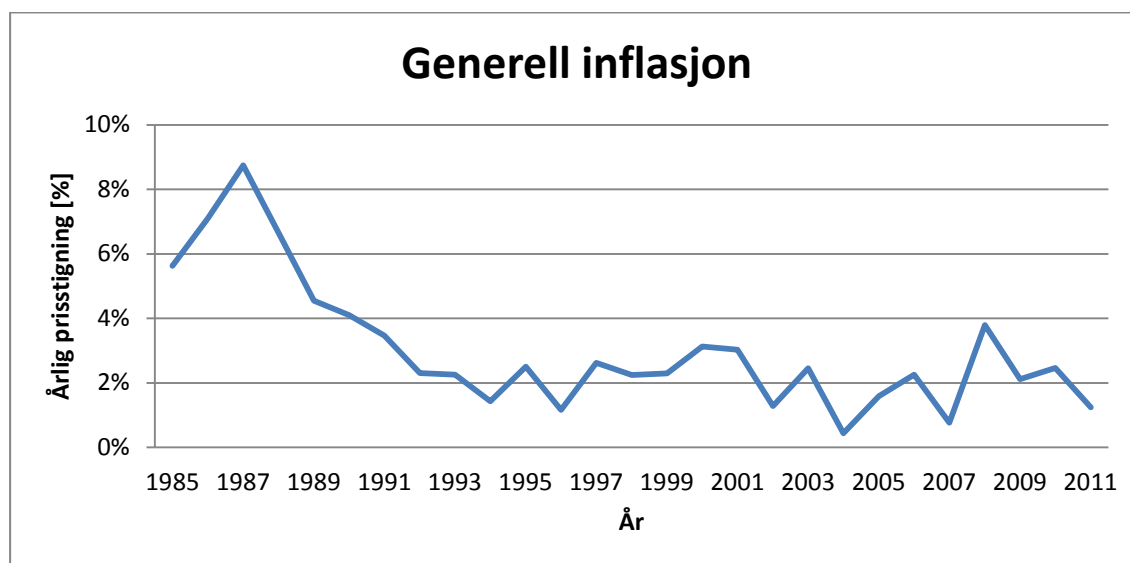
Det kan også justeres for andre forhold, som for eksempel relativ energiprisendring og skatteforhold, ved bestemmelse av realrenten (Novakovic, et al., 2007).

Statistikker viser at det har vært store endringer i Norges Banks styringsrente de siste 25 årene, utviklingen er skissert i Figur 7 (Norges Bank, 2012a).



Figur 7 – Styringsrente (nominell rente) i perioden 1985-2011

I samme tidsperiode har det samtidig vært store endringer i årlig prisstigning, som illustrert Figur 8 (Statistisk Sentralbyrå, 2012a).



Figur 8 – Konsumprisindeksen i perioden 1985-2011

Det er tydelig at både nominell rente og årlig prisstigning har variert kraftig de siste tiårene, med en gradvis avtagende trend. Store variasjoner medfører stor usikkerhet i beregningen av realrenten, og dermed risiko for bruk av en uegnet kalkulasjonsrente. Kostnaden ved slik systematiske risiko tas gjerne høyde for ved å beregne en risikostjustert realrente. Det brukes da et risikotillegg som gjenspeiler risikoen for den aktuelle investeringen (Finansdepartementet, 2005), og kalkulasjonsrenten består dermed av realrente pluss et risikotillegg. Historisk data benyttes ofte for å anslå fremtidige verdier, men betydelig tids- og landsvariasjoner gjør det vanskelig å med sikkerhet si noe om forventet rentenivå og risiko.

I både offentlig og privat sektor vil rentenivået bestemmes av utviklingen på det internasjonale kapitalmarkedet. Generelt ligger kalkulasjonsrenten noe høyere i privat enn i offentlig sektor. Dette skyldes blant annet økt grad av egenfinansiering i privat sektor, og dermed økt krav til avkastning. I tillegg regnes avkastningskravet etter skatt, i motsetning til i offentlig sektor der skatteinntektene er en del av det samfunnsøkonomiske overskuddet (Finansdepartementet, 2005).

Generelt vil valg av kalkulasjonsrente ha stor betydning for beregningene av lønnsomheten til en investering. En høyere kalkulasjonsrente vil føre til at lønnsomheten til et prosjekt domineres av investeringskostnadene og vil i mindre grad påvirkes av fremtidige kostnader. Virkningen av endringer i kalkulasjonsrente vil forsterkes ved økte levetider.

3.6.3 Kostnads- og materialdata

Kostnads- og materialdata som benyttes i beregningene vil være forbundet med to typer usikkerhet: usikkerhet i grunnlaget og usikkerhet ved subjektive vurderinger av prosjektspesifikke forhold. Beregninger på alle nivåer er forbundet med usikkerheter, og desto grovere dataunderlaget desto større blir usikkerheten (Austeng & Hugsted, 1995). Dette skyldes at det foreligger mindre detaljinformasjon slik at omfanget av subjektive vurderinger øker.

3.6.3.1 Kostnadsdata

Kostnadskalkyler er bygget opp av separate elementer med ulik grad av usikkerhet. Erfaringsmessig er arbeidskostnadene de mest usikre kostnadene i kalkylen (Austeng & Hugsted, 1995). Typiske kostnadselementer inkluderer en vurdering av usikkerheten ved hvert av enkeltelementene. Denne typen usikkerhet omtales gjerne som "estimatusikkerhet", og defineres som den forventede variabiliteten i kjente forhold og aktiviteter (Samset, 2008). Vanlig praksis for å ta hensyn til denne usikkerheten er å bygge opp prisene per enhet av faktiske kostnader med et påslag for risikoen. Det er også vanlig å ta utgangspunkt i nøkkeltallsverdier som justeres for ulike påvirkningsfaktorer for det aktuelle byggeprosjektet. På denne måten reduseres usikkerheten. Subjektive vurderinger av forutsetningene som legges til grunn for påslagsprosent og justeringsfaktorer medfører stor kalkyleusikkerhet.

Spesielt nøkkeltall som baseres på erfaringer er forbundet med stor usikkerhet. Dette skyldes uklarheter rundt hva som inngår i de oppgitte verdiene, og hvilke forutsetninger som legges til grunn. Det er derfor spesielt viktig å få innsyn i hva disse verdiene er basert på for å kunne foreta prosjektspesifikke justeringer. I tillegg må det kun benyttes nøkkeltall fra pålitelige kilder.

Ofte er likevel den største usikkerheten knyttet til uforutsette kostnader, "hendelsesusikkerhet", som omfatter usikkerheten som oppstår fra uforutsette forhold og aktiviteter (Samset, 2008). Vanlig praksis er å ta høyde for hendelsesusikkerhet ved å legge til en usikkerhetsavsetning til totalsummen. Den endelige summen omtales da gjerne som finansieringsramme, fremfor forventet kostnad.

Metoden som er beskrevet her er en deterministisk kalkylemetode, og betrakter ikke reel usikkerhet. Det benyttes istedenfor sikkerhetsmarginer for å redusere risiko for feil i estimeringen. Stokastiske kalkylemetoder innebærer en mer inngående vurdering av reell usikkerhet, der kostnadselementene angis med statistiske fordelinger. Dette er en omfattende og tidkrevende prosess som forutsetter fagkyndige vurderinger.

3.6.3.1 Materialdata

Beregning av LCA baserer seg i hovedsak på oppgitte mengder og materialdata. Dermed forutsetter sikre beregninger at det foreligger både riktige materialberegninger og tilstrekkelig med materialdata.

Manglende materialdata er i dag et utbredt problem i byggebransjen, blant annet finnes det kun et begrenset antall miljødeklarasjoner for byggevarer. Dette medfører at det må benyttes stor grad av generell og generisk data fremfor mer spesifikk data. Generisk data kan gi misvisende svar dersom det ligger andre forutsetninger og antagelser til grunn enn i det aktuelle prosjektet.

Samtidig kan bruken av spesifikk data i LCA-beregninger gi falsk trygghet, og en hovedkilde til usikkerhet i resultatene er ofte usikkerheten i prosjektspesifikke inputdata. Manglende kunnskap hos de som beregner og rapporterer resultatene kan gi utilsiktede mangler.

3.6.4 Energifriser

Energibruk utgjør ofte en stor driftskostnad, følgelig vil energipriser ha stor betydning i LCC-beregningene. Spesielt årskostnaden er følsom for valgt energipris.

Pris er kjøpers kostnad for kraft og avhenger av kraftmarkedet. Det snakkes i hovedsak her om markedet for elektrisk kraft ettersom elektrisitet står for omtrentlig 87 % av energibruken i den norske byggesektoren (Enova Næring, 2011). Når det kjøpes kraft skal kostnader, både for bruk av energivaren og for overføringen av energien fra stedet den ble produsert, dekkes. Dette er årsaken til at energiprisen generelt består av tre kostnadsledd: nettleie, kraftpris og offentlige avgifter. Samtlige kostnadsledd varierer over tid og mellom ulike situasjoner, men det er spesielt kraftprisen, og til en viss grad nettleien, som er forbundet med usikkerheter.

3.6.4.1 Nettleie

Energiloven danner grunnlaget for regulering av nettleien i Norge. Loven omhandler produksjon, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi (Lovdata, 1990). Myndigheten til å fatte vedtak er delegert til Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Nettselskapene gis inntektsrammer, en øvre grense for inntekten som kan hentes gjennom nettleien. På bakgrunn av dette fastsetter de nettleien innenfor sitt geografiske område. Inntektsrammen påvirkes av egne og andres nettkostnader, alder på nettet, klima og topografi. Følgelig kan det oppstå store variasjoner i nettleien mellom de ulike nettselskapene (Skaansar, et al., 2010).

3.6.4.2 Kraftpris

NVE har delegert ansvaret for å organisere og drive kraftmarkedet til organisasjonen Nord Pool og dets datterselskap. Nord Pool eies av flere sentrale nordiske nettselskaper, herunder Statnett. Statnett har det praktiske og utførende ansvaret for at det norske kraftmarkedet er i balanse.

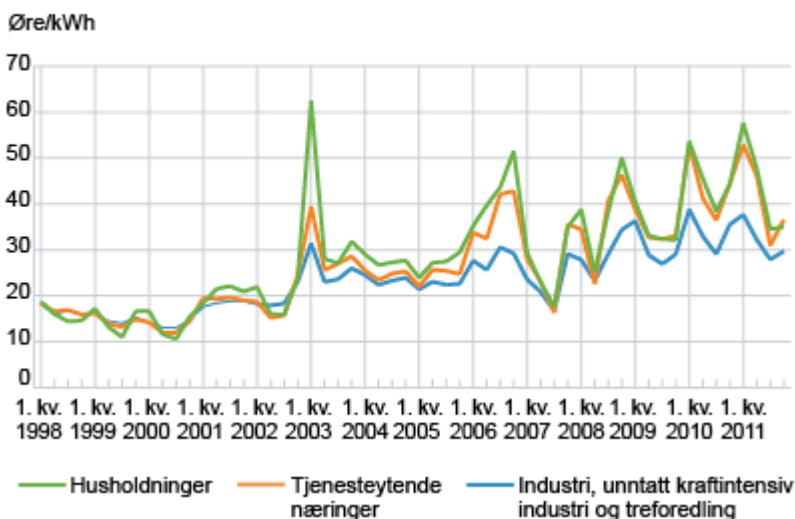
I kraftmarkedet skiller det mellom engrosmarkedet og sluttbrukermarkedet. I engrosmarkedet foregår handel i store kvantum mellom større aktører, enten direkte eller over Nord Pools Spotprismarked. Sluttkundemarkedet omfatter alle husholdningskunder samt næringskunder som ikke selv handler direkte på Nord Pool, men som får levert strøm gjennom en leverandør eller megler (NVE, 2008). Forbrukerne kan selv velge leverandør av kraft, samt typen kraftavtale. Ytterpunktene av kraftavtaler er fastpris og markedspris. Ved fastpriskontrakter får forbrukeren en forsikring fra leverandøren om at prisene vil holde seg på samme nivå, prisusikkerheten som da overføres til kraftselskapet reflekteres i et risikotillegg, og generelt økt kraftpris (Skaansar, et al., 2010). Ved markedspris og standard variabel pris må forbrukeren godta en god del usikkerhet i forbindelse med svingende kraftpriser, men det forventes en lavere pris over tid ettersom det den såkalte usikkerhetsforsikring faller bort. Det finnes flere ulike kontraktstyper som befinner seg mellom disse to ytterpunktene. I de senere årene har gebyret for skifte av strømlleverandør falt bort. Dette har ført til skjerpet konkurranse mellom leverandørene, og hyppigere regulering av prisene slik at de ligger tettere opp til spotprisen enn tidligere.

3.6.4.3 Forhold som påvirker prisene

Prisen på kraft bestemmes av tilbud og etterspørsel, og det etterstrebes balanse mellom disse to i kraftmarkedet. Såfremt det ikke oppstår begrensninger i overføringskapasiteten vil prisene være like over hele Norden. Infrastrukturen er nødvendig for å koble produksjon til forbruk (Skaansar, et al., 2010), og det er overføringskapasiteten i nettet som avgjør hvor mye elektrisitet som kan utveksles til enhver tid. Flaskehals oppstår dersom det ønskes å overføre mer energi enn forbindelsen har kapasitet til. Dette reguleres gjennom å dele inn markedet i ulike geografiske prisområder.

I Norge står vannkraft for mesteparten av elektrisitetsproduksjonen. Dette får betydning for hvilke forhold som har innvirkning på kraftprisene, til tross for at det utveksles strøm med Norden. På kort sikt vil prisene påvirkes av temperaturforhold og nedbørmengder. Disse kan gi store årsvariasjoner, normalt vil det være høyest prisnivå i de kaldeste periodene. For øvrig påvirkes prisene på kort sikt av magasinforhold, generelt aktivitetsnivå i økonomien, forventninger om fremtidige priser og produksjonskostnadene i naboland (Novakovic, et al., 2007). Begrensninger i tilgjengelig kraft resulterer i usikre priser, men mulighetene for kjøp og salg av kraft mellom naboland, lagring av vann i magasinene og bruk av alternative energibærere skal bidra til at prisene i kraftmarkedet holder seg mest mulig stabilt. Figur 9 illustrerer at markedsprisen på elektrisitet varierer sterkt over året, samt over flere år.

Gjennomsnittlige priser på elektrisk kraft, eksklusive avgifter og nettleie. Alle typer kontrakter. 1. kvartal 1998-4. kvartal 2011. Øre/kWh



Figur 9 – Gjennomsnittlige priser på elektrisk kraft, eksklusive avgifter og nettleie. Alle typer kontrakter. 1. kvartal 1998-4. kvartal 2011 (Statistisk Sentralbyrå, 2012b)

På lengre sikt vil kraftprisene i større grad avhenge av den generelle økonomiutviklingen og utviklingen i kraftforsyning, herunder utviklingen i forbruket og kostnader i forbindelse med nye kraftstasjoner. Innføring av CO₂-avgifter på kraft vil også kunne bidra til økte priser.

Det er i tillegg samvirke mellom de ulike energibærerne, og etterspørselen vris generelt i retning av billigere vare. Dette vil si at høy pris på en energivare øker etterspørselen etter en annen. Samtidig vil markedsførhold og prisdannelse oppføre seg noe ulikt for de forskjellige energibærerne. Fjernvarme er den nest største energibæreren i Norge, og dekker omtrentlig 10 % av den totale energibruken i bygninger (Enova Næring, 2011). Fjernvarme er i direkte konkurranse med andre energibærere, i hovedsak elektrisitet. Fjernvarmeprisen er regulert av Energilovens § 5-5 som blant annet sier at «Prisen for fjernvarme skal ikke overstige prisen for elektrisk oppvarming i vedkommende forsyningsområde» (Lovdata, 1991). Såfremt de tilfredsstiller dette åpner loven for at de ulike fjernvarmeleverandørene beregner prisen på ulike måter.

3.6.4.4 Prisutviklingen

Elektrisitetsprisen i Norge har generelt sett ligget på et lavt nivå i forhold til Norden og Europa. Prisforskjellen skyldes forskjeller i avgifter, distribusjonskostnader og produksjonsteknologi. I Norge har det tidvis vært for liten eksportkapasitet, slik at det ikke har vært tilstrekkelig med mulighet for å selge energi til andre land i overskuddsperioder. Samtidig har det i perioder vært importproblemer. Dette gjelder spesielt i kaldere perioder, der manglende energi gir økte priser. Problemer med kapasitet førte til stor kraftutbygging på 60-80 tallet, og dette resulterte blant annet i et fall i nettleien på 1990-tallet når investeringer i ny kraft avtok. Videre førte redusert kraftutbygging, kombinert med økt etterspørsel til en ny periode med stor prisstigning. Ved innføring av Energiloven i 1991 ble kraftomsetningen i større grad markedsbasert, og resulterte i en mer jevn prisstigning i takt med konsumprisindeksen (Olje- og energidepartementet, 1998).

Eksisterende infrastruktur bygges stadig ut, og kraftutvekslingen med Norden og Europa ventes å øke i årene fremover. Når overføringsledningene etableres vil det bli mindre prisforskjeller mellom landene og norske priser vil dermed nærme seg de europeiske kraftprisene.

På bakgrunn av dette blir det tydelig at det er mange mulige fremtids-scenarier for energiprisutviklingen, og det er mange faktorer som innvirker på kraftmarkedet. Dette gir stor grad av usikkerhet rundt fremtidige energipriser, og dermed energikostnadene gjennom bygningers livsløp.

3.6.5 CO₂-faktorer for energiforsyning

Det er store variasjoner i CO₂-faktorer, både mellom de ulike energikildene og innad for en type energikilde. Utslippsnivå avhenger blant annet av produksjonsmetode, råvarekvalitet, transportkostnader og virkningsgrad ved omforming av primærenergi til nyttbar energi (Selvig, 2007). Generelt er fornybare energikilder lavere CO₂-faktor enn ikke-fornybare. På bakgrunn av kompleksiteten på området er valg av CO₂-faktorer en stor kilde usikkerhet i LCA-beregningene. Valg av CO₂-faktorer får stor betydning for resultatene av klimagassberegninger, og dermed miljøgevinstene til de ulike prosjektene.

Spesielt er CO₂-faktorer et politisk betent tema i forbindelse med elektrisitet. Det er stor uenighet rundt vektingen av elektrisitet som blir benyttet i Norge. I 2009 besto norsk elektrisitetsproduksjon

av 97 % vannkraft, som ansees som en ren energikilde uten utslipp (Skaansar, et al., 2010). Tidligere har Norge vært helt selvforsynt med elektrisitet, men fremveksten av et felles nordisk kraftmarked har ført til elektrisitetsutveksling mellom de nordiske landene. Ettersom elektrisitetsproduksjon ikke gir klimautslipp hos sluttbruker, men i forbindelse med produksjon, betyr dette at elektrisitet benyttet i Norge ikke lenger kan sies å være hovedsakelig vannkraftbasert (Selvig, 2010). Dette har skapt en problemstilling rundt hvilket perspektiv som skal benyttes ved vekting av norsk elektrisitetsbruk.

Dagens nettkapasitet er tilstrekkelig for et fungerende felles nordisk kraftmarked, men på grunn av begrensninger i overføringskapasiteten er det per i dag ikke knyttet til det Europeiske markedet. Det vil med stor sannsynlighet etableres et felles europeisk elektrisitetsmarked de neste 10-60 årene som følge av en utvidelse av infrastrukturen (Selvig, 2011). I Norden og Europa benyttes det en langt lavere andel fornybare energikilder ved energiproduksjon noe som gir utslag i utslippsfaktorene. Tabell 6 viser en oversikt over gjennomsnittlig nivå utslippsnivå de siste 2-3 årene for de ulike elektrisitetsmiksene.

Tabell 6 – Utslippsfaktorer for elektrisitetsbruk (Selvig, 2011)

Elektrisitetsproduksjonsmiks	CO ₂ -faktor
Norsk	0,05-0,1 kg CO ₂ -ekv./kWh
Nordisk	I overkant av 0,2 kg CO ₂ -ekv./kWh
Europeisk	0,4-0,5 kg CO ₂ -ekv./kWh

Valg av el-miks får store konsekvenser for LCA-resultatene ettersom det medfører store forskjeller i CO₂-belastning. Dette gjelder både for direkte elektrisitetsbruk, samt når elektrisitet benyttes i forbindelse med produksjon av andre energivarer, materialer og bygningskomponenter.

Utslippsnivået per produserte kWh har blitt redusert de siste 10 årene på grunn av omlegging til andre energivarer og effektivisering av produksjonen (Selvig, 2011), og denne utviklingen er forventet å fortsette fremover for å nå politiske målsetninger om null utslipp. Utslippsfaktoren sett over et lengre perspektiv vil dermed trolig ligge lavere enn dagens nivå, og dette må tas hensyn til ved klimaberegninger over bygningens livsløp. Det fremgår med dette at det er store usikkerheter knyttet til fremtidig utslippsnivå for elektrisitet. Dette resulterer i at påliteligheten til klimagassberegningene reduseres.

4 Presentasjon av casebygget

I dette kapittelet gis det en orientering om bakgrunnen for oppgraderingsprosjektet og Powerhouse-samarbeidet. Videre beskrives casebygget mer i detalj, herunder oppbygging, lokale forhold, dagens tilstand, energibruk og energibehov.

Bygget som studeres i denne oppgaven er et kontorbygg på Kjørbo i Sandvika, Bærum. Bygget er en av to kontorblokker som er planlagt oppgradert til energipositive kontorbygg (Figur 10).



Figur 10 – Kontorblokkene på Kjørbo

Casebygget er valgt fordi det er et bygg som har skapt interesse både i media og i byggebransjen, mye grunnet at det er et svært ambisiøst prosjekt. Derfor er det interessant å belyse konsekvensene av et slikt omfattende prosjekt for å gi et bedre bilde av et slikt tiltak i et bærekraft-perspektiv.

4.1 Powerhouse

Prosjektet gjennomføres i regi av Powerhouse-alliansen, som er et samarbeid om pluss hus grunnlagt i 2011 (Powerhouse, 2012a). Dette er et samarbeid mellom Entra Eiendom, Skanska, Snøhetta, ZERO og Hydro. Powerhouse definerer pluss hus som *”bygg som gjennom driftsfasen genererer mer fornybar energi enn det som ble brukt til produksjon av byggevarer, oppføring, drift og avhending av bygget”* (Borchsenius, 2012). Denne definisjonen er utarbeidet i dialog med ZEB ved NTNU, og betrakter energien over hele byggets livssyklus.

Alliansen har satt seg ambisiøse mål og arbeider med fremtidsrettede prosjekter. Dette utfordrer tradisjonelle tankemåter og byggeskikker og er med på å tvinge frem nye standarder på området.

Strategien for å oppnå målene har fire hovedelementer (Borchsenius, 2012):

- Involvere dyktige samarbeidspartnere
- Redusere energibruken maksimalt ved å sette passivhus som minimumskrav og fokusere på materialbruk
- Optimere energiproduksjon gjennom å utnytte alle mulige potensielle energikilder på tomten
- Riktige leietakere som er motiverte og som er villige til å delta i prosessen

Det første Powerhouse-prosjektet, "Powerhouse One", er et nytt kontorbygg på Brattørkaia i Trondheim med planlagt byggestart første halvår i 2013 (Powerhouse, 2012b). Kjørbo prosjektet er det andre prosjektet som gjennomføres i Powerhouse-alliansen.

4.2 Kjørbo prosjektet

Ambisjonen for Kjørbo prosjektet er å bli verdens nordligste energipositive oppgraderte kontorbygg (Borchsenius, 2012). I denne sammenheng defineres energibehovet som det som trengs for at bygget skal fungere, i hovedsak ventilasjonssystem, varme- og kjølesystem, samt belysning og bygningsautomatikk. Brukeravhengig utstyr og inventar medregnes ikke.

Ved oppgraderingen skal Powerhouse benytte nye fasadeløsninger, installere nye tekniske anlegg og avanserte styringssystemer, i tillegg til nye teknologier for energiproduksjon (Powerhouse, 2012c). Planlagt byggestart er i begynnelsen av 2013, med ferdigstilling i 2014.

Byggene eies av eiendomsforvalterne Entra Eiendom AS, og planlagt leietaker av det oppgraderte bygget er rådgivingselskapet Asplan Viak. I tillegg til å være leietakere skal Asplan Viak også bistå som rådgivere på prosjektet.

4.2.1 Om byggene

De to kontorblokkene som betraktes er del av et større kontorområde, Kjørbo parken, med totalt 10 kontorbygg, samt Bærum politistasjon, parkeringshus og Kjørbo gård (Figur 11). Casebyggene er knyttet sammen med ytterligere 3 blokker med et fellesareal i senter.



Figur 11 – Situasjonsplan Kjørboparken (Iversen, 2012a)

Kjørboparken ligger nærme havet i indre Oslofjorden, ved utløpet til Sandvixselva. Området ligger tett inntil Sandvika sentrum og E18. Byggene er underlagt Bærum kommunes tilknytningsplikt til fjernvarmesentral.

Byggene ble oppført i 1981, og blokk 1-3 gjennomgikk en innvendig rehabilitering i 2008 (Palm, 2010). Det er blokk 4 og blokk 5, markert i Figur 11, som inngår i dette prosjektet. Tabell 7 gir en oversikt over arealer for de to kontorblokkene.

Tabell 7 – Oversiktstabell med oppmålte areal for blokk 4 og 5

	Blokk 4	Blokk 5
Etasjeutforming	4 kontoretasjer Delvis utgravd kjeller med bomberom	3 kontoretasjer Kjeller (tilfluktsrom)
BRA oppvarmet areal	2.576 m ²	2.438 m ²
BTA (Bruttoareal)	2.666 m ²	2.545 m ²
BYA (Grunnflate)	640 m ²	640 m ²

Utover ulikt etasjeantall og små arealdifferanser har de to blokkene tilnærmet lik oppbygging. Råbygget, fundament, etasjeskillere, indre søyler og søyler i yttervegg er utformet i betong. Fasaden består av aluminiumprofiler som er inndelt etasjevis med glassfelt over og under vinduer. Vindusrammene er hengslet inn i aluminiumsrammene som bærer fasaden. Bak glassfeltet er det bindingsverk av tre med 150 mm mineralull. Det er kledd med gipsplater både innvendig og utvendig.

Fjernvarme brukes til å dekke hele oppvarmingsbehovet, samt noe varmtvann. All romoppvarming foregår gjennom radiatorer, og enkelte cellekontorer har brukerstyring. Byggene kjøles ved hjelp av fjernkjøling lagt i et eget rørsystem. Kjøling foregår både via ventilasjonsluften og kjølebafler montert i tak. Det er lagt inn egne vekslere med lukket krets for bygningen for både fjernvarme- og fjernkjølesystemet, og en felles varmesentral er lokalisert i blokk 2. Hvert av byggene har eget anlegg for balansert ventilasjon med roterende varmegjenvinnere for kontoretasjene. I blokk 5 er det i tillegg montert et anlegg med omluftventilasjon i kjelleretasjen. Det er i senere tid montert et anlegg for sentral driftskontroll (SD-anlegg) i blokk 9. SD-anlegget har urstyring av ventilasjon i kontoretasjer, og det er mulighet for natt- og helgesenkning av varmeanlegget (Bøhn, 2008).

4.2.2 Teknisk tilstand

Det ble utført en overordnet tilstandsanalyse, nivå 1, i henhold til NS 3424 *Tilstandsanalyse av byggverk*. Analysen er i hovedsak utført av Opsiøn, og er basert på befaringsrapporter utarbeidet av Rambøll. Generelt viser analysen at det er behov for rehabilitering av bygget, spesielt i forbindelse med ytterkledning og vinduer grunnet utettheter og vanninntrenging.

Dagens fasade er ikke tett, og utilstrekkelig med avrenningsmuligheter har resultert i fuktskader. Det er funnet råte i noen av bunnkarmene, innvendig belegget bak glassfasaden flusser av visse steder, utvendige gipsplater går i oppløsning og det er dokumentert muggsoppvekst i flere vegger. Termografering viser også betydelige luftlekkasjer rundt vinduene, og dagens vinduer har langt lavere U-verdi enn gjeldende forskriftskrav. Betong i fundamenter og bæresystem viser ingen tegn til avskalling, og bindingsverk er tilsynelatende i god stand. I Rambølls rapport konkluderes det med at fasaden i sin helhet bør skiftes ut, mens store deler av innvendig bindingsverk kan beholdes (Røgeberg, 2010a).

Det ble foretatt en omteking av taket i 2008. Dette inkluderte 5 cm etterisolering, og viser i dag ingen tegn til slitasje eller lekkasje (Opsiøn, 2012). Byggene rapporterer god termisk komfort på vinterstid til tross for kaldt trekk ved vinduer, samt et stort kjølebehov på sommerstid. Samtlige tekniske anlegg og installasjoner er fra 1981, men det er ikke meldt om noen driftsproblemer i forbindelse med disse.

Videre i oppgaven er det blokk 5 som studeres. Resultatene og vurderingene som gjøres i forbindelse med denne ansees samtidig som representativ for begge kontorblokkene.

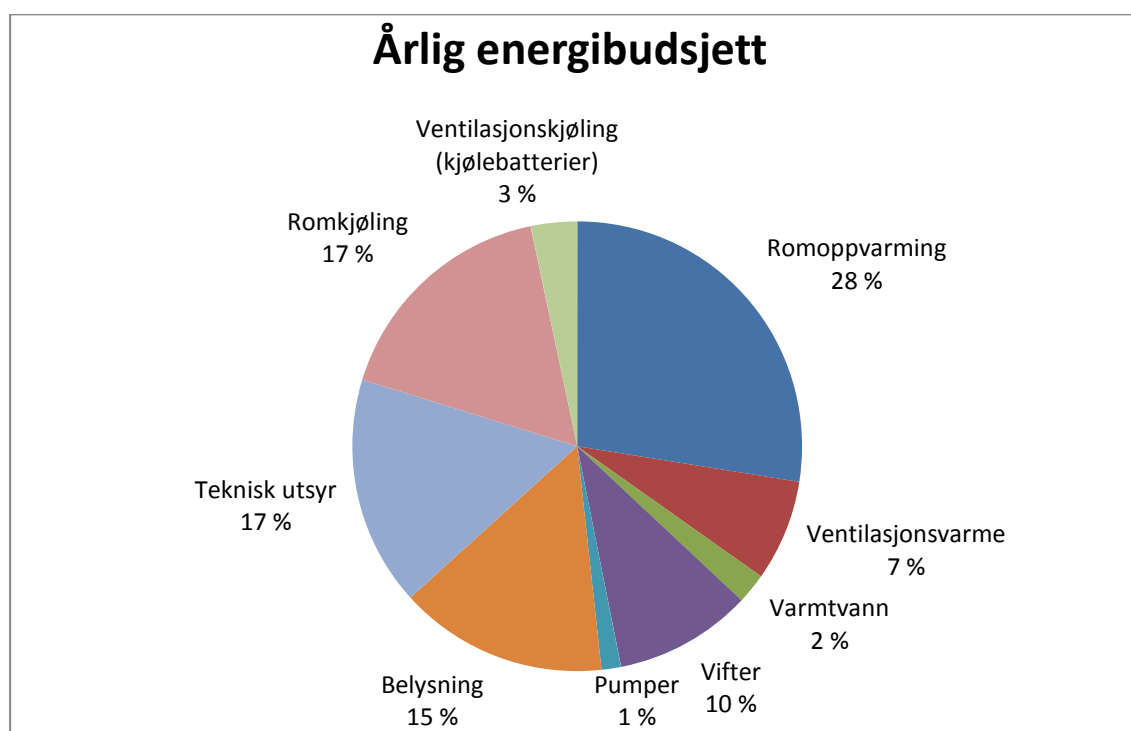
4.2.3 Energibehov og energibruk

Det er gjort en vurdering av bygningenes energibehov og –bruk slik de fremstår i dag. Dette danner utgangspunktet for å kunne utarbeide konsepter for oppgradering, samt utgjør grunnlag for sammenligning.

4.2.3.1 Beregnet energibehov

Det er brukt energisimuleringsprogrammet SIMIEN for å beregne energibehovet til kontorblokken. Simuleringen av det eksisterende bygget er i sin helhet utført av Overøye. Det ble gjort to modelleringer, en med og en uten soneinndeling. Modellen med soneinndeling benyttes ved vurdering energibehovet. Denne er i henhold til NS 3031 delt inn i tre koblede soner: solutsatt, lite solutsatt og midtsone. Ved simuleringen er det benyttet inndata basert på tegninger og oppgitte verdier, supplert med NS verdier der data ikke var tilgjengelig (Overøye, 2012). Utdrag fra SIMIEN-beregningene ligger vedlagt i vedlegg 2.

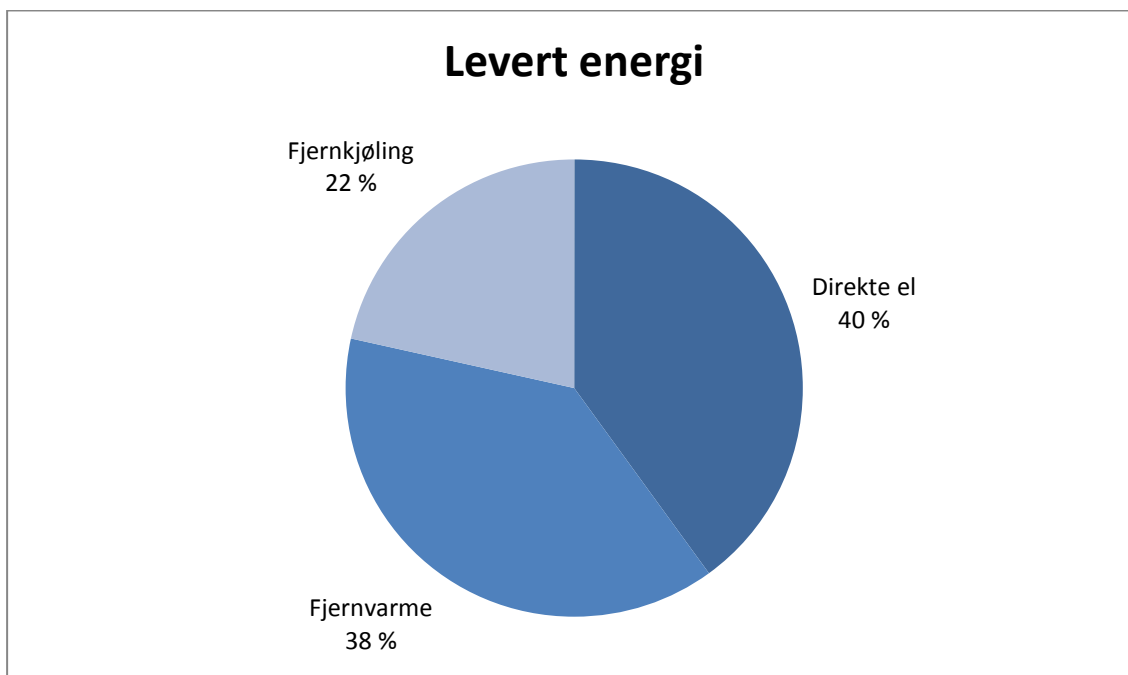
Årssimuleringen i SIMIEN resulterte i et netto energibehov på 557 303 kWh, som tilsvarer et spesifikt energibehov på 228,6 kWh/m². Figur 12 illustrerer hvordan dette fordeler seg på bygningens energiposter.



Figur 12 – Beregnet årlig energibudsjet for eksisterende kontorblokk 5

Simuleringene viser at de største kildene til energibruk er romoppvarming, tett etterfulgt av romkjøling, teknisk utstyr og belysning.

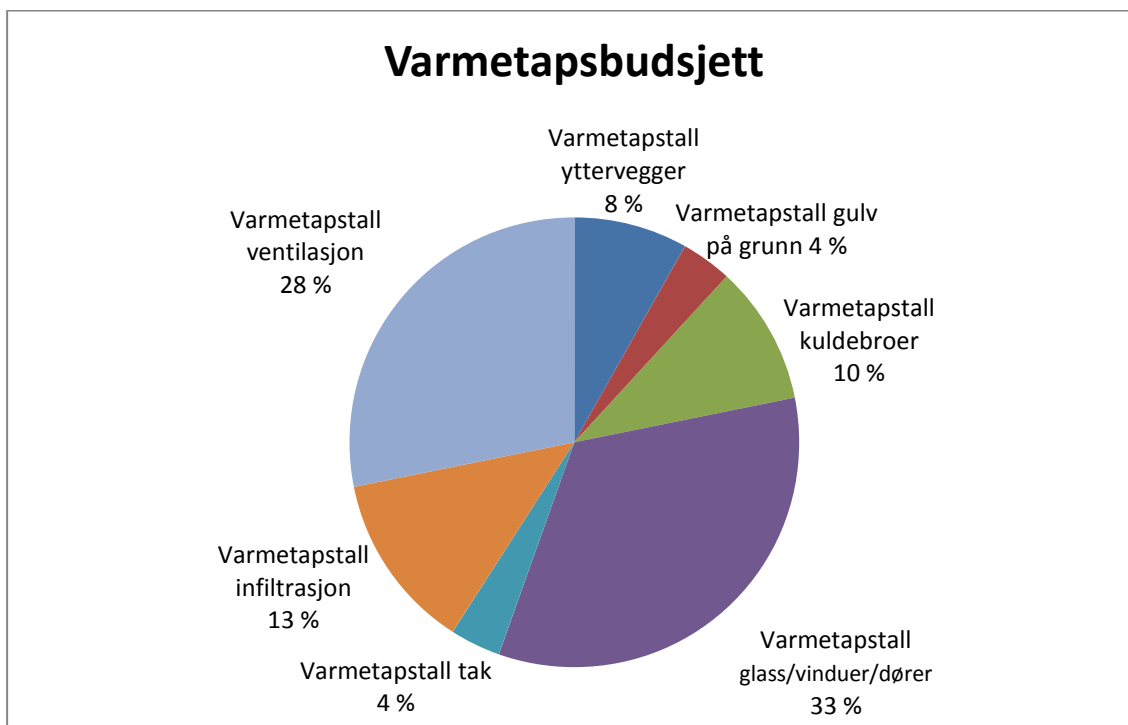
Beregnet levert energi er på 608 522 kWh, dette tilsvarer 249,6 kWh/m². Dette fordeler seg på direkte elektrisitet, fjernvarme og fjernkjøling som vist på Figur 13.



Figur 13 – Beregnet levert energi for eksisterende kontorblokk 5

Verdiene for levert energi ligger noe høyere enn verdiene for energibehov grunnet systemtap.

Det totale varmetapstallet for bygget er på 1,10 W/m²K.

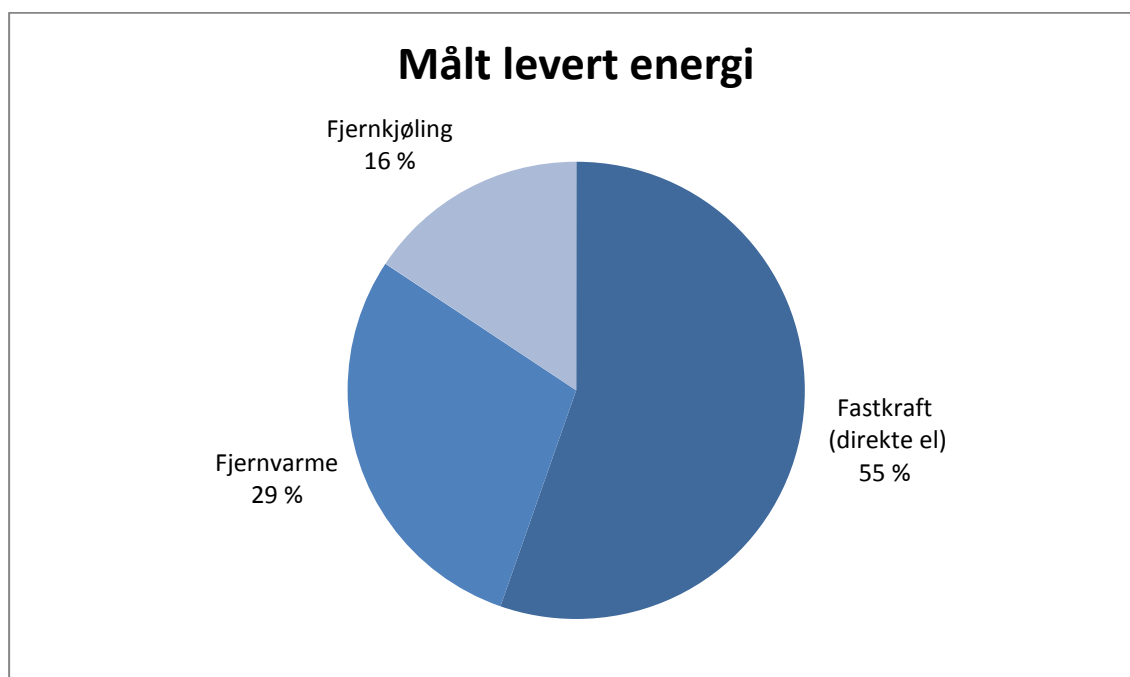


Figur 14 – Beregnet varmetapsbudsjet for eksisterende kontorblokk 5

Varmetapsbudsjettet for bygningen viser at de største varmetapspostene er vinduer og dører, samt ventilasjonssystemet (Figur 14). Det største potensialet for å redusere bygningens totale varmetap ligger dermed i disse postene.

4.2.3.2 Målt energibruk

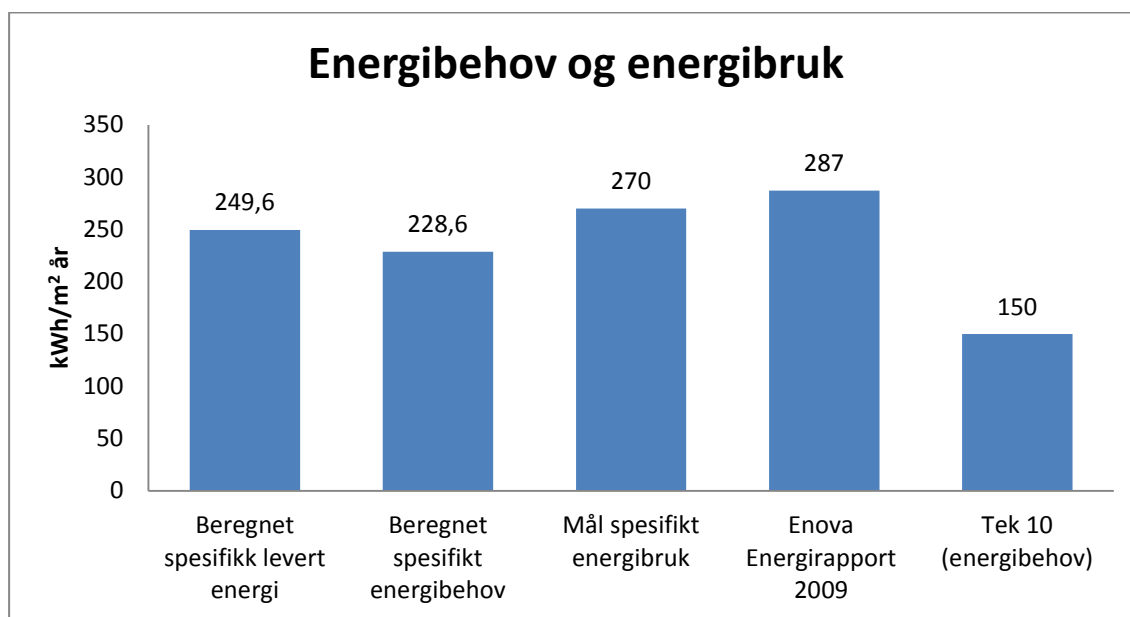
Det er installert en egen elektrisitetsmåler for blokk 1-6, men det finnes ikke data for blokk 5 separat. Målt energibruk fra EOS-logg 2011 for blogg 1-6 er oppgitt av driftsleder Per Iversen i Entra Eiendom AS. Målingene viser et spesifikt energibruk på 255 kWh/m² år. Dette fordeler seg på de ulike energikildene som vist i Figur 15.



Figur 15 – Målt levert energi for eksisterende blokker 1-6

4.2.3.3 Evaluering av energibruk og -behov

Figur 16 illustrerer resultatene fra beregning og måling, samt verdier for sammenligning.



Figur 16 – Sammenstilling av resultater for energibehov og -bruk

Grafen viser at bygningens beregnede energibruk ligger noe lavere enn målte verdier. Dette kan skyldes at det ikke finnes data for kun blokk 5, og at dette kun er beregnet ved bruk av arealandeler av den totale bruken for blokk 1-6.

Energibruken, både beregnet og målt, ligger langt over krav i dagens bygningsforskrift (TEK 10). Samtidig er energibruken lavere enn gjennomsnittet for kontorbygg med sentraloppvarming og komfortkjøling (Enova Næring, 2011)

Ved hjelp av SIMIEN ble det gjort en vurdering opp mot bygningsforskriftene (TEK 10). Resultatene viser at bygget som helhet ikke tilfredsstiller kravene (vedlegg 2). Det er kun med tanke på energiforsyning at bygningen havner innenfor kravene gitt i TEK 10. Kravet til energiforsyning tilfredstilles grunnet at bygget per i dag er tilknyttet sentral for fjernvarme og -kjøling, og dette benyttes for å dekke store deler av energibehovet. På de øvrige punktene ligger bygningens prestasjoner under gjeldende forskriftskrav, og det er på bakgrunn av dette et tydelig behov for oppgradering på flere områder.

5 Alternative konsepter for oppgradering

I dette kapittelet beskrives de ulike konseptene for oppgradering av kontorblokkene. Det er utarbeidet tre konsepter for oppgradering av kontorblokken: et standard konsept i henhold til TEK 10 og to plusshuskonsepter. Avslutningsvis oppsummeres og de tre konseptene i Tabell 11.

Felles for konseptene er at fundamenter og råbygget av betong blir stående. I tillegg innebærer samtlige konsepter utskiftning av fasade. I følge Rambølls rapport er det ikke mulig å skifte ut eksisterende vinduer uten å rive fasaden i sin helhet (Røgeberg, 2010b). Reguleringsplanen legger også føringene for utforming av ny fasade ettersom det kreves at denne beholder samme uttrykk som tidligere, og som øvrige blokker i Kjørboparken. Dører mot fellesareal og trapperom ansees for å være innvendige dører, og inkluderes ikke. Det sees i tillegg bort i fra utvendig dør i 1. etasje og denne inkluderes i fasadeareal.

5.1 Standard oppgradering

Konseptet for standard oppgradering av kontorblokken er i henhold til byggt teknisk forskrift (TEK 10). I TEK 10 § 14-2 stilles det krav til at bygningen enten skal tilfredsstillе angitte nivå på energitiltak (tiltaksmetoden), eller ha totalt netto energibehov mindre enn gitt energiramme for den aktuelle bygningskategorien (Lovdata, 2012a). Tiltaksmetoden benyttes videre i utarbeidelsen av en løsning for standard oppgradering. Dette innebærer at det gjøres tiltak slik at byggets ulike komponenter tilfredsstiller krav til energikvaliteter. Uavhengig av om det benyttes energikvaliteter eller energiramme som dokumentasjonsmetode, skal bygningen tilfredsstillе minstekravene i forskriftene.

Tabell 8 angir dagens krav til energikvaliteter etter TEK 10 gjeldende for kontorbygninger (Lovdata, 2012a), samt verdiene til den eksisterende bygningen.

Tabell 8 – Utgangspunkt for standard oppgradering

Energi kvaliteter	Krav (TEK 10)	Eksisterende kontorblokk
Transmisjonsvarmetap		
Andel vindus- og dørrareal	≤ 20 % av oppvarmet BRA	13,3 W/(m ² K)
U-verdi yttervegg (effektiv verdi over og under terreng)	≤ 0,18 W/(m ² K)	0,28 W/(m ² K)
U-verdi tak	≤ 0,13 W/(m ² K)	0,16 W/(m ² K)
U-verdi gulv	≤ 0,15 W/(m ² K)	0,16 W/(m ² K)
U-verdi glass/vindu/dør inkludert karm/ramme	≤ 1,2 W/(m ² K)	2,80 W/(m ² K)
Normalisert kuldebroverdi	≤ 0,06 W/ (m ² oppvarmet BRA)	0,11 W/ (m ² oppvarmet BRA)
Infiltrasjons- og ventilasjonsvarmetap		
Lekkasetall ved 50 Pa trykkforskjell (N ₅₀)	≤ 1,50 h ⁻¹	2,00 h ⁻¹

Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg	80 %	Kontoretasjer: 70 % Kjeller: 0 % (ingen varmegjenvinner)
Øvrige tiltak		
Spesifikk vifteeffekt i ventilasjonsanlegg (SPF)	$\leq 2,00 \text{ kW}/(\text{m}^2/\text{s})$	Kontoretasjer: 3,4 $\text{ kW}/(\text{m}^2/\text{s})$ Kjelleretasje: 5,0 $\text{ kW}/(\text{m}^2/\text{s})$
Mulighet for natt- og helgesenkning av innetemperatur		Ja, tilknyttet SD-anlegg i blokk 9
Tiltak som eliminerer bygningens behov for lokal kjøling		Nei

Kravene til transmisjonsvarmetap kan fravikes forutsatt at bygningens totale varmetapstall ikke øker (Lovdata, 2012a). Det ble gjort en referansesimulering i SIMIEN med evaluering opp mot TEK 10. Resultatene fra denne beregningen gir et totalt varmetapstall på $0,81 \text{ W}/\text{m}^2$ når kravene til energikvaliteter er oppfylt (vedlegg 3).

Tabell 9 angir gjeldende minstekrav for kontorbygg.

Tabell 9 – Minstekrav i TEK 10 (Lovdata, 2012a)

U-verdi yttervegg	$\leq 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
U-verdi tak	$\leq 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
U-verdi gulv	$\leq 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
U-verdi glass/vindu/dør inkludert karm/ramme	$\leq 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell	$\leq 3,0$ luftvekslinger pr. time
Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg	80 %
U-verdi for glass/vindu/dør inkludert ramme/karm multiplisert med andel vindus- og dørareal av bygningens oppvarmede areal	$< 0,24 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$
Total solfaktor glass/vindu (g_t)	$< 0,15$ på solbelastet fasade

Samtlige minsteverdier ligger over kravene til energikvaliteter, og minstekravene vil dermed tilfredstilles dersom energikvalitetene oppfylles. I tillegg kreves det at rør, utstyr og kanaler knyttet til varme- og distribusjonssystem skal isoleres for å hindre varmetap. Dette er tilfredsstilt for eksisterende rør- og kanalsystem i bygget.

Med utgangspunkt i energikvalitetene og eksisterende verdier er det utarbeidet et forslag til en standard oppgradering. Tiltakene som fremkommer her er basert på konsepter utarbeidet av Overøye som er modifisert for å tilpasse oppgradering etter TEK 10. Dette innebærer at det er benyttet verdier for den eksisterende kontorblokken for de bygningskomponentene der det ikke er gjort tiltak. SIMIEN-inndata og -resultater ligger vedlagt i vedlegg 4 og 5.

5.1.1 Beskrivelse av tiltak

I det følgende beskrives tiltakene som inngår i konseptet mer i detalj. Det er gjort noe omfordeling av tiltak, men bygningens varmetapstall forblir uendret, lik $0,81 \text{ W/m}^2$, ved at det kompenseres for med tiltak på andre bygningsdeler. Samtlige bygningskomponenter tilfredsstiller med dette også minstekrav i TEK 10.

5.1.1.1 Tak

Det er ikke gjort tiltak på tak. Eksisterende tak ble etterisolert i 2008 og tilfredsstiller minstekrav i TEK 10.

5.1.1.2 Vegg

Fjerner eksisterende fasadekledning, og beholder eksisterende bindingsverk. Det anslås at 40 % av utvendige gipsplater er enten fuktskadet eller blir skadet under demontering av fasadefelt, og må derfor skiftes ut (Overøye, 2012). Det utføres og tilleggisoleres med 98 mm mineralull (varmekonduktivitet: $\lambda=0,037$). Dette gir en ny stenderdimensjon på $48 \times (148+98)$. Ifølge BKS 471.012, tabell 221, gir dette en U-verdi på $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Byggforsk, 2003). Utforingsjikt og mineralull føres forbi dekkekanter.

Det monteres ny fasade med aluminiumprofiler og etasjevis glassfelt utenpå bindingsverket. Glassfasaden utføres med ugjennomsiktige (sorte) felt.

5.1.1.3 Vegg under terreng

Det legges knasteplast og 100 mm utvendig isolasjon av typen EPS ($\lambda=0,038$) på eksisterende fundament. Dette gir en U-verdi på $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Overøye, 2012). Ny effektiv U-verdi for yttervegg blir med dette $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Eksisterende masser antas å være drenerende, og kan benyttes til tilbakefylling. Det legges ny fiberduk, mens eksisterende drenerør kan benyttes videre.

5.1.1.4 Vinduer

Eksisterende vinduer fjernes, og erstattes med nye vinduer med trekarm. Ny U-verdi lik U-verdi $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

5.1.1.5 Gulv på grunn

Tilleggisoleres med 50 mm EPS ($\lambda=0,038$), deretter 50 mm påstøp av betong. Dette utføres på eksisterende gulvkonstruksjon. Dette gir en U-verdi på $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$, og en effektiv U-verdi for gulv på $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Overøye, 2012).

5.1.1.6 Infiltrasjonstap

Målet om å oppnå et lekkasjetall (N_{50}) mindre eller lik $1,5 \text{ h}^{-1}$ oppnås ved å sørge for tetthet rundt gjennomføringer, god tilslutning mellom glassfasade og klimavegg, samt tettesjikt rundt vinduer.

5.1.1.7 Solavskjerming

Solavskjerming er kun et av flere mulige tiltak for å redusere behovet for lokal kjøling. Ved standard oppgradering er det valgt å redusere kjølebehovet ved å redusere intern belastning fra belysning. Det er derfor ikke gjort spesielle solavskjermingstiltak. Det må likevel vurderes ved gjennomføringen om det er behov for solavskjerming på bakgrunn av erfaringer med store innetemperaturen i perioder med mye sol.

5.1.1.8 Ventilasjonsanlegg

Eksisterende ventilasjonsanlegg byttes ut. Det installeres nytt CAV-anlegg med roterende varmegjenvinner og en temperaturvirkningsgrad på 80 % som skal betjene både kontor- og kjelleretasjer. Dette inkluderer nytt aggregat, varmegjenvinner, filtre, ventiler og vifter (med $\text{SPF} = 2$). Det er benyttet veiledende verdier i NS 3031 for spesifikke luftmengder, setpunkttemperatur og driftstider (Standard Norge, 2007b).

Beholder eksisterende rørnett, og dette rengjøres i forbindelse med oppgraderingen.

5.1.1.9 Belysning

Samtlige lysrør i møterom og downlights i korridorer byttes ut med nye T5 lysrørarmaturer. Armaturer med doble lysrør (28 W) benyttes. Antas med dette et internt tilskudd belysning på 8 W/m^2 i henhold til standardiserte inndata for kontorbygg i NS 3031, tabell A-1 (Standard Norge, 2007b).

Det vil være nødvendig med ytterligere prosjektering for å sørge for at belysningen er god nok.

5.1.1.10 Sentral driftskontroll

Beholder eksisterende system med tilknytning til SD-anlegg i blokk 9.

5.1.1.11 Varme- og kjølesystem

Fortsetter å benytte anlegg for fjernvarme og -kjøling, inkludert eksisterende rørnett. Driftstider endres i henhold til veiledende verdier i NS 3013, tabell A.3. (Standard Norge, 2007b). Maksimalt avgitt effekt for oppvarmingssystemet reduseres i forhold til eksisterende kontorblokk på bakgrunn av mindre oppvarmingsbehov. Antar at maksimalt avgitt effekt for kjølesystemet forblir uendret.

Beholder eksisterende radiatorer og kjølebafler ettersom de antas å være i god stand (Overøye, 2012).

5.1.2 Oppnådde resultater

Etter gjennomføring av standard oppgradering har bygningen et årlig spesifikt energibehov på 174,9 kWh/m², og spesifikk levert energi på 188,9 kWh/m². Dette er fordelt på 89,1 kWh/m² elektrisitet, 58,3 kWh/m² fjernvarme, og 41,5 kWh/m² fjernkjøling.

5.2 Plusshuskonsept

Opgaven baserer seg på to plusshuskonsepter utarbeidet av Overøye. Disse er skissert på et overordnet nivå, og utgjør rammeverket for oppgradering til plusshusnivå. Begge konseptene er utarbeidet med sikte på å redusere energibehovet gjennom tiltak på bygningskroppen og tekniske installasjoner. Som referansepunkt benyttes passivhusstandard. I tillegg installeres det system for elektrisitetsproduksjon for å dekke resterende elektrisitetsbehov. For begge konsepter legges det opp til å dekke elektrisitetsbehovet ved bruk av solceller. I henhold til Powerhouse sin definisjon av plusshus skal ikke energibruken som går med til teknisk utstyr tas med i energibalansen. Det gjøres også endringer i bygningens energiforsyning.

Bundet energi er antatt ut i fra verdi fra Powerhouse One-prosjektet på Brattørkaia i Trondheim, der det er beregnet til 22 kWh/m² per år (Powerhouse, 2012a). Denne verdien gjelder nybygg med en analyseperiode på 60 år. Oppgraderingsprosjekt vil ha mindre bundet energi enn nybygg, og denne verdien vil variere avhengig av konseptenes omfang.

Det finnes ingen gjeldende standard for passivhus for yrkesbygg. Det tas i denne oppgaven utgangspunkt i både SINTEFs prosjektrapport nr. 42 med forslag til kriterier for yrkesbygg, og høringsutkast "prNS3701" til den forestående passivhusstandard for yrkesbygg (Overøye, 2012). Tabell 10 presenterer krav til byggtekniske komponenter og teknisk anlegg som er benyttet i oppgaven.

Tabell 10 – Passivhuskrav for yrkesbygg (Dokka, et al., 2009), (Standard Norge, 2011)

Kategori/egenskap	Prosjektrapport 42	Pr3701	Eksisterende
Luftmengdebehov i driftstiden	6 m ³ /hm ²	6 m ³ /hm ²	Kontoretasjer: 7,4 m ³ /hm ² Kjeller: 4,00 m ³ /hm ²
Luftmengdebehov utenfor driftstiden	1 m ³ /hm ²	1 m ³ /hm ²	Stopper utenfor driftstiden
Interne varmetilskudd			
Belysning	5 W/m ²	4 W/m ²	11,00 W/m ²
Utstyr (i driftstiden)	6 W/m ²	6 W/m ²	11,00 W/m ²
Personer	4 W/m ²	4 W/m ²	4,00 W/m ²
Netto oppvarmingsbehov	≤ 15 kWh/m ² år	≤ 20 kWh/m ² år	Romoppvarming: 62,9 kWh/m ² Ventilasjonsvarme: 16,6 kWh/m ²

Kjølebehov (romkjøling og ventilasjonskjøling)	≤ 10 kWh/m ² år	0 kWh/m ² år	Romkjøling: 38,6 kWh/m ² Ventilasjonskjøling: 7,6 kWh/m ²
Varmetapstall	≤ 0,50 W/(m ² K)	≤ 0,60 W/(m ² K)	1,10 W/(m ² K)
U-verdi yttervegg (effektiv verdi over og under terreng)	≤ 0,15 W/(m ² K)	≤ 0,15 W/(m ² K)	0,28 W/(m ² K)
U-verdi gulv	≤ 0,15 W/(m ² K)	≤ 0,15 W/(m ² K)	0,16 W/(m ² K)
U-verdi tak	≤ 0,13 W/(m ² K)	≤ 0,13 W/(m ² K)	0,16 W/(m ² K)
U-verdi vindu	≤ 0,80 W/(m ² K)	≤ 0,80 W/(m ² K)	2,80 W/(m ² K)
U-verdi dør	≤ 0,80 W/(m ² K)	≤ 0,80 W/(m ² K)	2,80 W/(m ² K)
Normalisert kuldebroverdi	≤ 0,03 W/(m ² K)	≤ 0,03 W/(m ² K)	0,11 W/(m ² K)
Virkningsgrad varmegjenvinner	≥ 80 %	≥ 80 %	Kontoretasjer: 70 % Kjeller: 0 %
SPF-faktor ventilasjonsanlegg	≤ 1,5 kW/(m ³ /s)	≤ 1,5 kW/(m ³ /s)	Kontoretasjer: 3,4 kW/(m ³ /s) Kjeller: 5,0 kW/(m ³ /s)
Lekkasjetall ved 50 Pa	≤ 0,60 h ⁻¹	≤ 0,60 h ⁻¹	2,00 h ⁻¹

Følgende konsepter er i sin helhet utarbeidet av Overøye, det vises derfor til "*Oppgradering av kontorbygg til plusshus - Caseanalyse av Kjørbo*" for mer informasjon om disse. Her er det kun presentert et sammendrag av de to konseptene. Det er bare konsept 2 som tilfredsstiller passivhuskravene i Tabell 10 (Overøye, 2012). Det er her sett bort i fra krav til maksimalt CO₂-utslipp på 25 kg/(m²år) (Dokka, et al., 2009). Utdrag fra SIMIEN-beregningene for de to konseptene ligger vedlagt i henholdsvis vedlegg 6 og 7.

5.2.1 Konsept 1

Dette konseptet er det minst omfattende av de to plusshuskonseptene. Konseptet innebærer tilleggisolering av tak, inkludert ny gesims, utforing av bindingsverk og utvendig etterisolering. I likhet med standard oppgradering monteres det ny glassfasade med aluminiumprofiler over og under vindusfelt. Det settes inn nye åpningsbare aluminiumsvinduer. I dette konseptet gjøres det ingen tiltak på vegg under terreng eller gulv på grunn. Det monteres utvendige automatisk styrte persiener på vinduer mot sørvest og sørøst. På fasade mot nordvest og nordøst monteres det innvendige persiener som styres manuelt.

Eksisterende ventilasjonsanlegg byttes med nytt CAV-anlegg som skal dekke både kontor- og kjelleretasjer. Det installeres kammergjenvinner og eksisterende kanalnett rengjøres i forbindelse med oppgraderingen. Belysning i korridorer og møterom skiftes ut til T5 lysrør, det monteres bevegelsessensor i møterom og cellekontor, samt dagslyssensorer langs vinduene. Det installeres sjøvann-varmepumpe som skal dekke kjølebehovet, samt store deler av oppvarmingen. Bygget skal fortsatt være tilknyttet fjernvarme som skal dekke det resterende oppvarmingsbehovet. Både

eksisterende rørføringer og radiatorer beholdes. Det monteres også frittstående monokrystallinske solcellemoduler på taket, samt på deler av taket til parkeringshus. Totalt modulareal er på 196 m² pluss 275 m².

Etter gjennomføring av tiltak i konsept 1 har bygget et spesifikt energibehov på 64,3 kWh/m², der 15,5 kWh/m² går til romoppvarming og ventilasjonsvarme. Bygget trenger 46,2 kWh/m² spesifikk levert energi, dette fordeler seg på 37,1 kWh/m² direkte elektrisitet, 6,8 kWh/m² elektrisitet til varmpumpe og 2,3 kWh/m² til fjernvarme. Med fratrekk for teknisk utstyr utgjør direkte elektrisitet til drift av bygget 27,6 kWh/m² år. Bundet energi er satt til 10 kWh/m² år. Solcellepanel på tak og på parkeringsgarasje har et direkte elektrisitetsbehov på 0,2 kWh/m², og produserer årlig 91 670 kWh som tilsvarer 37,6 kWh/m² år. Dette dekker akkurat nødvendig energi til drift, eksklusivt teknisk utstyr, samt bundet energi.

5.2.2 Konsept 2

Plusshuskonsept 2 har mange likhetstrekk med konsept 1, men er noe mer omfattende. Taket etterisolerers også ved konsept 2, men med noe økt isolasjonstykkelse. Utover de tiltak som inngår i konsept 1 gjøres det i konsept 2 utbedringer av vegg mot terreng og gulv mot grunn. I tillegg byttes hele det eksisterende bindingsverket ut, inkludert mineralull og gipsplater. Behovssyringen utvides og omfatter i dette konseptet også ventilasjonsanlegget. I motsetning til konsept 1 installeres det kun solceller på kontorbyggets tak, og det benyttes her et grid system fremfor frittstående moduler.

Etter gjennomføring av tiltakene har bygget i konsept 2 et spesifikt energibehov på 61,3 kWh/m², der 12,2 kWh/m² går til romoppvarming og ventilasjonsvarme. Bygget trenger 45,4 kWh/m² spesifikk levert energi, dette fordeler seg på 37,0 kWh/m² direkte elektrisitet, 6,0 kWh/m² elektrisitet til varmpumpe og 2,3 kWh/m² fjernvarme. Med fratrekk for teknisk utstyr utgjør direkte elektrisitet til drift av bygget 26,8 kWh/m² år. Bundet energi er satt til 13 kWh/m² år. Dette er større enn for plusshuskonsept 1 på bakgrunn av at også bindingsverket skiftes ut. Solcellepanel på tak har et direkte elektrisitetsbehov på 0,2 kWh/m², og produserer årlig 104 110 kWh som tilsvarer 42,7 kWh/m² år. Dette er mer enn nødvendig for å dekke energi til drift, eksklusivt teknisk utstyr, samt bundet energi.

5.3 Oppsummering av tiltak og oppnådde resultater

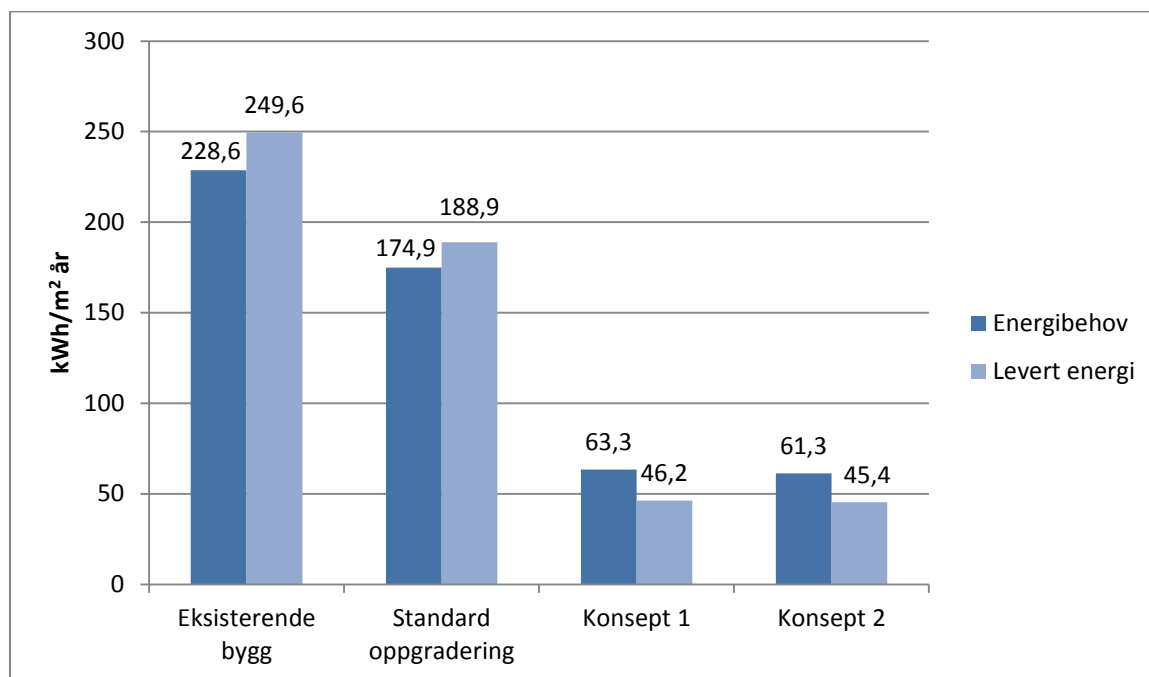
I Tabell 11 oppsummeres de tre konseptene med gjennomførte tiltak og oppnådde energikvaliteter som følge av disse. Verdier for energikvaliteter for den eksisterende kontorblokken er også gjengitt i tabellen.

Tabell 11 – Oppsummering av konsepter for oppgradering

Bygningskomponent	Eksisterende kontorblokk	Standard oppgradering	Konsept 1	Konsept 2
Tak	U-verdi: 0,16	Ingen tiltak U-verdi: 0,16	Tilleggsisolere med 150 mm U-verdi: 0,10 Det bygges ny gesims	Tilleggsisolere med 250 mm. U-verdi: 0,08 Det bygges ny gesims
Yttervegg	U-verdi: 0,28	Beholder eksisterende bindingsverk, og etterisolere med 100 mm mineralull utvendig. Det legges 100 mm EPS på fundament.	Beholder eksisterende bindingsverk, og etterisolere med 150 mm mineralull utvendig. Ny glassfasade over og under vindusfelt.	River ned til råbygget av betong, nytt bindingsverk med 300 mm isolasjon. Ny glassfasade over og under vindusfelt. Etterisolere med 100 mm EPS på fundament. Effektiv U-verdi = 0,14
Gulv på grunn	U-verdi: 0,16	Effektiv U-verdi = 0,18 Tilleggsisolere med 50 mm EPS og 50 mm påstøp U-verdi: 0,11	Ingen tiltak U-verdi: 0,16	Tilleggsisolere med 50 mm EPS og 50 mm påstøp. U-verdi: 0,11
Vinduer/dører	U-verdi: 2,80	Nye vinduer med trekarm. U-verdi: 1,2	Nye aluminiumsvinduer med vippefunksjon. U-verdi: 0,78	Nye aluminiumsvinduer med fastkarm. U-verdi: 0,68
Solavskjerming	Nei	Nei	Utvendige persienner på fasader mot sør, innvendige persienner på fasader mot nord.	Utvendige persienner på fasader mot sør, innvendige persienner på fasader mot nord.
Infiltrasjonstap	N_{50} : 2,00 h ⁻¹	Ny tettere fasade og tettesjikt rundt vinduer N_{50} : 1,5 h ⁻¹	Ny tettere fasade, tettesjikt rundt vinduer og nøyaktig utførelse. N_{50} : 0,6 h ⁻¹	Ny tettere fasade, tettesjikt rundt vinduer og ny innvendig dampspærre. N_{50} : 0,6 h ⁻¹

Bygningskomponent	Eksisterende kontorblokk	Standard oppgradering	Konsept 1	Konsept 2
Ventilasjonsanlegg	Balansert, roterende varmegjenvinner for kontoretasjer. Virkningsgrad: 70 % SPF: 3,4 Omluft ventilasjon i kjelleretasjer.	Nytt CAV-anlegg med roterende varmegjenvinner. Virkningsgrad: 80 % SPF: 2,0 Beholder, og renser eksisterende kanalnett	Nytt CAV-anlegg med kammeregjenvinner. Virkningsgrad: 90 % SPF: 0,7 Beholder, og renser eksisterende kanalnett.	Nytt CAV-anlegg med kammeregjenvinner. Virkningsgrad: 90 % SPF: 0,7 Beholder, og renser eksisterende kanalnett.
Belysning	T5 lysrør i kontorarealer, T8 lysrør og downlights i korridorer og møterom. Effekt: 11 W/m ²	Bytt til T5 lysrør i møterom og korridorer. Effekt: 8 W/m ²	Bytte til T5 lysrør i møterom og korridorer. Bevegelsessensor i møterom og cellekontor. Dagslyssensor. Effekt: 4 W/m ²	Bytte til T5 lysrør i møterom og korridorer. Bevegelsessensor i møterom og cellekontor. Dagslyssensor. Effekt: 4 W/m ²
Sentral driftskontroll	Ja, tilknyttet felles system med styring fra blokk 9.	Ja	Ja, installeres behovsstyring av lys og oppvarming.	Ja, installeres behovsstyring av lys, ventilasjon og oppvarming.
Oppvarming	Fjernvarme	Fjernvarme	Sjøvann-varmepumpe	Sjøvann-varmepumpe
Kjøling	Fjernkjøling	Fjernkjøling	Sjøvann-varmepumpe	Sjøvann-varmepumpe
Oppvarming av tappevann	40 % el og 60 % fjernvarme	40 % el og 60 % fjernvarme	Sjøvann-varmepumpe (60 %) og fjernvarme (40 %)	Sjøvann-varmepumpe (60 %) og fjernvarme (40 %)
Elektrisitetsproduksjon	Nei	Nei	Ja, frittstående solcellepanel på tak og på nærliggende parkeringsgarasje.	Ja, solcelle på tak, grid system.

Samtlige konsepter innebærer reduksjoner i bygningens energibehov og behov for levert energi (Figur 17).



Figur 17 – Oppnådde energireduksjoner

Grafen illustrerer at de to plusshuskonseptene oppnår langt større reduksjoner enn standard oppgradering. I tillegg har disse konseptene et mindre behov for levert energi enn det faktiske energibehovet. Dette skyldes bruk av varmepumpe med en systemvirkningsgrad på 3,7. Det er mengden levert energi som er av betydning ved både LCC- og LCA-beregningene ettersom dette uttrykker det faktiske ressursforbruket.

6 Beregninger og resultater

I dette kapitlet legges grunnlaget for beregningene, og resultatene fra disse legges frem. LCC-beregningene presenteres først, og deretter fremstilles LCA-beregningene.

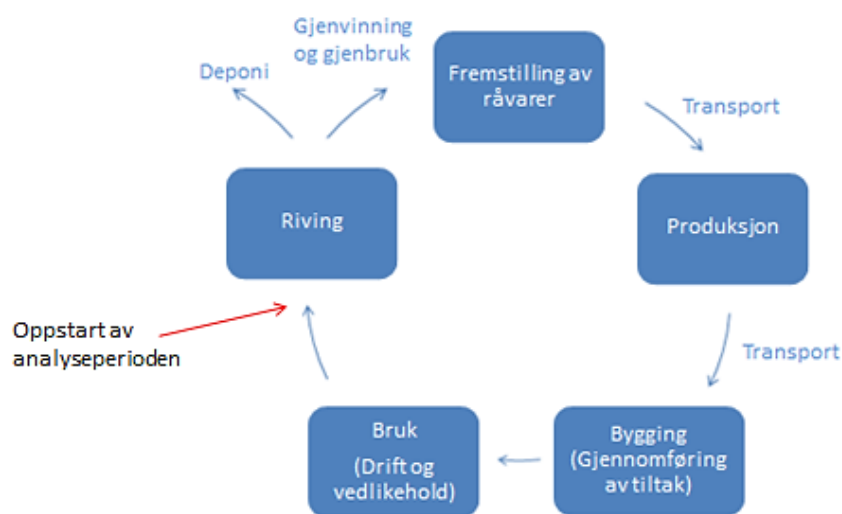
6.1 LCC-beregninger

Det er her redegjort for sentrale forutsetninger og antagelser lagt til grunn for beregningene.

6.1.1 Analyseperiode, levetider og systemgrense

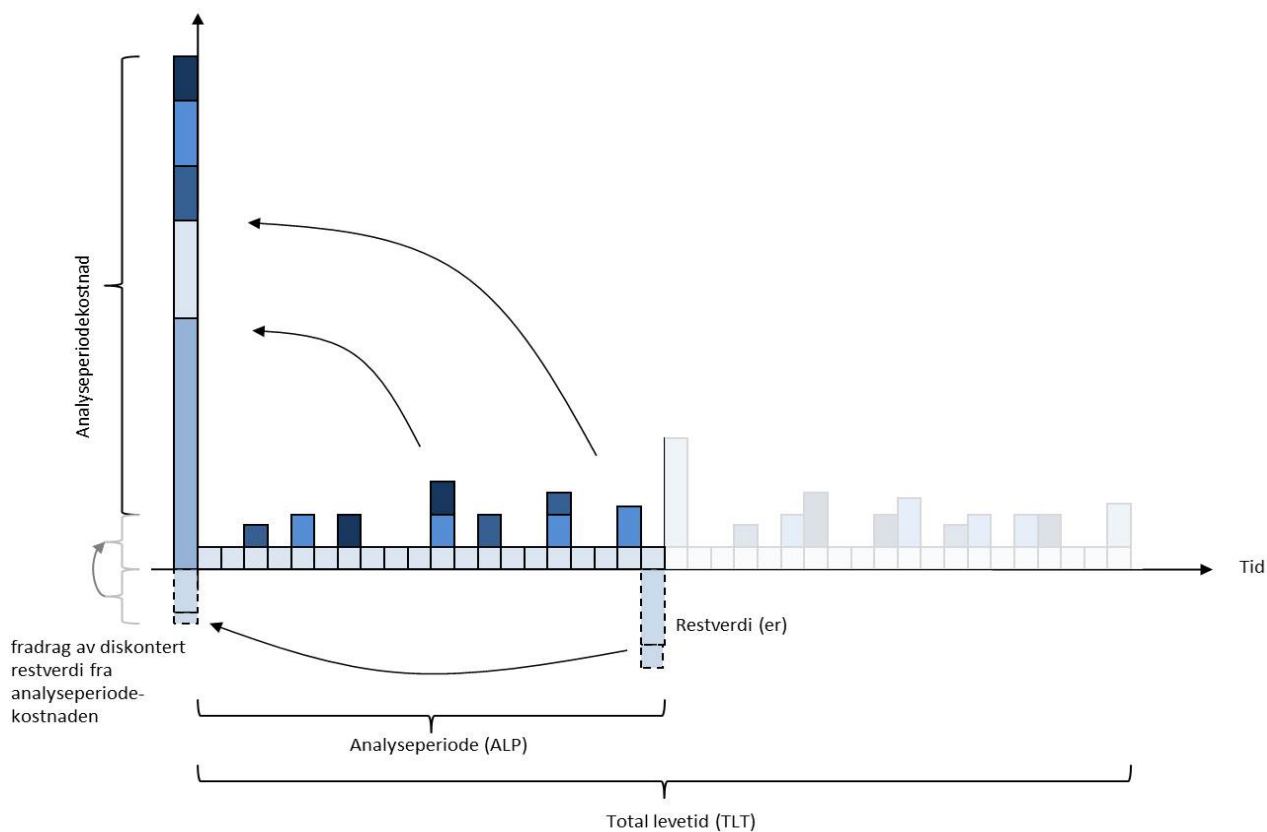
Byggets totale levetid er den tiden som bygget forventes å være i bruk, det vil si fra etablering av bygget til det rives (Standard Norge, 2012a). Med utgangspunkt i ISO 15686-1 "Service Life Planning – Part 1" (table B.1), er det gjort et strategisk valg av den totale levetiden for bygget lik omtrentlig 90 år (Internatioanal Standard, 2011). Den totale levetiden antas å sammenfalle med den tekniske levetiden til bæresystemet og er ensbetydende med designlevetid. Bygget er per i dag 31 år, dette gir en teknisk restlevetid på 60 for det eksisterende bygget. Slike strategiske valg av levetider er mulig ettersom det er stor usikkerhet og variasjoner i levetidsdata. I tillegg er flere av bygningens komponenter i god stand per i dag. Dette gir grunnlag for å forvente lengre levetider enn gjennomsnittlig verdier.

Dynamiske funksjonskrav i forbindelse med kontorbygg skaper et behov for livsløpsplanlegging, samtidig som det er begrenset mulighet til å forutsi fremtidige behov. I tråd med veiledning for LCC, er det derfor valgt å benytte brukstid som analyseperiode i beregningene (Multiconsult, 2006). Brukstiden som her legges til grunn er 25 år i henhold til ISO 15686. Beregningens systemgrense settes med dette fra oppstart av oppgraderingen frem til neste oppgradering, som antas å inntreffe etter 25 år. Dette kan betraktes som livssyklusen til ombyggingsprosjektet (Figur 18), og utgjør en av flere, mindre sykluser i løpet av byggets totale levetid. Oppgraderingssyklusen innledes med riving av deler av det eksisterende bygget, dette markerer starten på analyseperioden. I praksis er dette kun en forskyvning av rekkefølgen på livssyklusen til grunn for LCA-prinsippet.



Figur 18 – Analyseperiodens livssyklus

Det blir noe misvisende å operere med begrepet livssykluskostnad i denne forbindelse ettersom det kun er deler av det totale livsløpet som betraktes. I stedet for benyttes begrepet analyseperiodekostnad, som er nåverdien av kapitalkostnadene og de årlige utgiftene i analyseperioden (Standard Norge, 2012a). Ettersom analyseperioden er kortere enn byggets totale levetid antas det at bygget har en restverdi (Figur 19).



Figur 19 – LCC-kalkyler med analyseperioder kortere enn total levetid (Standard Norge, 2012a)

Årskostnad blir her annuitet av analyseperiodekostnaden.

En oversikt over benyttede levetider for hovedkomponentene er vedlagt i vedlegg 8.

6.1.2 Kontoer/poster og elementer som er inkludert

Beregningene inkluderer alle kostnader så langt dette er mulig og hensiktsmessig innenfor prosjektets og oppgavens rammer. Kostnader inkluderes uavhengig av om det er byggherre eller leietakere som skal betale. I henhold til BKS 624.010 utgår kostnadspostene 7 (Service) og 8 (Potensiale) ettersom analyseperioden er kortere enn total levetid (Byggforsk, 2002). Post 7 vil også være uavhengig av konseptvalg, og dermed unyttig i forbindelse med en alternativsvurdering som er gjort i denne oppgaven. Det velges også å se bort i fra post 5 (Utviklingskostnader), basert på antakelsen om at det ikke vil foregå vesentlig verdioppretholdene arbeider utover det som inngår i vedlikehold i løpet av analyseperioden. Prosjektkostnadene omfatter kun kostnader knyttet til bygningskroppen og tekniske installasjoner. I oppgaven betraktes forventede kostnader, slik at det ikke legges inn en usikkerhetsavsetning (sikkerhetsmargin) på de beregnede prosjektkostnadene. En oversikt over poster som er inkludert og antagelser til grunn for verdisetting er vedlagt i vedlegg 9.

6.1.3 Byggetid

Oppstart av byggingen settes til 1. januar 2013, tidspunkt 0. Byggetid antas å være omtrentlig 1,5 år, slik at bygget ferdigstilles i midten av 2014. Prosjektkostnadene beregnes etter dagens prisnivå (2012). Ettersom det i henhold til NS 3454 opereres med tidsintervaller på ett år antas prosjektkostnadene å oppstå i år 1 (i midten av byggeperioden). Dette gir et mer realistisk bilde av virkeligheten enn om de oppstår helt i forkant eller etterkant av byggetiden. Dette innebærer at investeringen faller ved 67 % av total byggetid. Det er vanlig å regne at tyngdepunktet faller mellom 38-42 % (Holte, 2010). Dette vil gi noe utslag i prosjektets finansieringskostnader, men denne posten sees bort i fra ved beregningene ettersom det ikke er noen forutsetning for å kunne si noe om dette.

6.1.4 Vedlikehold og utskiftning

Kostnader til vedlikehold og utskiftninger er generelt vanskelig å beregne, og det er begrenset tilgang på nøkkeltall på dette området. Det benyttes her erfaringstall (nøkkeltall) fra Multiconsult for årlige vedlikeholds- og utskiftningskostnader for bygget som helhet. Denne verdien gjelder i utgangspunktet for nybygg, og en betraktningssperiode på 60 år. Til denne oppgavens formål regnes bygget som nybygg med en levetid på 60 år. Dermed antas denne referanseverdien å gjelde for både den valgte analyseperioden, samt for byggets resterende levetid.

Referanseverdien forutsettes å gjelde bygningen etter gjennomføring av standard oppgradering. Det er valgt å benytte en slik referanseverdi ettersom det er for store usikkerheter rundt levetider og vedlikeholds- og utskiftningsintervaller til at det er hensiktsmessig å foreta en mer detaljert beregning. Referanseverdien antas å inkludere alle komponenter med kortere levetid enn 60 år. Mindre vedlikeholdsarbeider som gjøres oftere med intervaller på mindre enn ett år inngår i driftskostnader.

For å få frem forskjellene mellom de ulike konseptene gjøres det tilpasning av referanseverdien i henhold til konseptbeskrivelsene for de to plusshuskonseptene. Vurderingene rundt dette er ytterligere spesifisert i vedlegg 8.

6.1.5 Restverdi

Ved beregning av restverdi benyttes teknisk verdi fremfor salgsverdi ettersom denne ikke er like markedsavhengig. Teknisk verdi baseres på nøkkeltall fra kalkulasjonsnøkkelen. Et nytt kontorbygg på 3 etasjer med normal standard har en teknisk verdi på omtrentlig 25 000 kr/m² regnet i dagens prisnivå (Holte AS, 2012c).

Den tekniske verdien synker gjerne mer de første 30-40 årene ettersom tekniske anlegg, som ofte er kostbare, har en levetid på 30-40 år (Listerud, 2012c). Restverdien til et bygg kan anslås til ca. 30 % etter 30 år, og mellom 20-25 % etter ytterligere 25 år, forutsatt at det ikke utføres større vedlikeholdsarbeider eller rehabilitering/oppgradering. Normalt gjennomføres rehabilitering eller oppgradering etter 30 år, slik som er tilfellet ved casebygget, og dette øker den tekniske verdien. På bakgrunn av dette antas den tekniske verdien til casebygget å være på 45 % av den tekniske verdien for nytt bygg etter 55 år når oppgraderinger er tatt i betraktning. Dette tilsvarer en restverdi på 11 250 kr/m² eksklusiv merverdiavgift på slutten av analyseperioden.

Generelt vil mer kostbar teknikk gi redusert teknisk restverdi ettersom tekniske anlegg har kortere levetid enn øvrige bygningsmessige komponenter. Dette resulterer i at verdien av bygget faller raskere enn bygg med mindre omfang av tekniske anlegg. Ved beregningen gjøres det en forenkling og det opereres med samme restverdi for samtlige konsepter uavhengig av grad av teknikk siden det ikke er grunnlag for å kunne foreta en mer detaljert differensiering.

6.1.6 Kalkulasjonsrente

Nominell rente er anslått ved å ta gjennomsnittet av Norges Banks styringsrente over de siste 10 årene (Norges Bank, 2012a). Denne perioden er valgt grunnet en utflating av rentenivået denne perioden i forhold til den foregående. Dette gir en nominell rente på 4,07 %. På tilsvarende måte er det beregnet gjennomsnittlig prisstigning over de siste 20 årene. Siden 1992 har den generelle inflasjonen holdt seg noenlunde stabil omkring 2 %, med et gjennomsnitt på 2,07 % (Statistisk Sentralbyrå, 2012a). Dette gir en risikofri realrente på tilnærmet lik 2 %. I tillegg antas det et risikotillegg på 2 % som skal dekke den systematiske usikkerheten, i hovedsak markedsusikkerheter i byggebransjen. Kalkulasjonsrenten som benyttes i beregningene er med dette på 4 %. Dette er for øvrig i tråd med retningsgivende kalkulasjonsrente for offentlige inverteringer, samt for lønnsomhetsberegninger i henhold til teknisk forskrift (Statens Bygningstekniske Etat, 2007). Beregningene forenkles ved å neglisjere eventuelle differensielle prisstigninger, og det benyttes samme renteverdi for alle kostnadspostene.

6.1.7 Energipriser

6.1.7.1 Fjernvarme og -kjøling

Det antas at prisene for fjernvarme og –kjøling holder seg på dagens nivå ettersom prisutviklingen for disse er vanskelig å forutsi. Det er store usikkerheter rundt både etterspørsel og utbygging av fjernvarmesentraler i tiden fremover. Bygget er tilknyttet Bærum fjernvarme AS (Fortum), og deres priser per i dag benyttes i beregningene. Bærum fjernvarme opererer med et energiledd og et effektledd ved fastsettelse av kraftprisen. Energileddet avregnes etter faktisk forbruk, mens det abonneres på en fastsatt effektverdi. Denne verdien kan reguleres dersom bygget tar ut mindre maksimal effekt enn antatt og det som er installert i varmeveksleren.

Verdier for effektuttak for fjernvarme og -kjøling er basert på inndata i SIMIEN. I situasjonen ved standard oppgradering dekkes hele oppvarmings- og kjølebehovet av henholdsvis fjernvarme og fjernkjøling. Maksimalt avgitt effekt ligger da på 80,5 kW for oppvarmingssystemet, og 73,1 kW for kjølesystemet. Ved konsept 1 og 2 installeres varmpumpe som skal dekke grunnlasten, og bygget vil fortsatt være tilknyttet fjernvarme som skal i hovedsak dekke spisslasten. Disse konseptene vil derfor ha et relativt høyt effektuttak i forhold til mengden levert energi. Maksimalt avgitt effekt er på 43,9 kW for konsept 1 og 39,0 for konsept 2 (Overøye, 2012).

6.1.7.2 Elektrisitet

Kraftprisen er valgt med utgangspunkt i at det norske prisnivået vil nærme seg det europeiske over tid. Med antagelsen om at den norske kraftprisen vil gå mot dagens europeiske pris, er det valgt en middelvei mellom disse prisene for å representere gjennomsnittlig kraftpris for de neste 25 årene. Dagens norske kraftpris på 36,67 øre/kWh er beregnet ut i fra Nord Pools spotpriser for Oslo over en periode fra juni 2010 til mai 2012 (Nord Pool spot, 2012). Den Europeiske kraftprisen (EU-27) på 84,30 øre/kWh er beregnet ut i fra et snittpris for 2009 til 2011 (European Commission, 2011), med en gjennomsnittlig valutakurs for samme periode (Norges Bank, 2012b). Dette gir en gjennomsnittlig kraftpris på 60,49 øre/kWh.

Nettleie og offentlige avgifter antas å holde seg på dagens nivå. Det benyttes Hafslunds priser for Oslo området. Deres nettleie er per i dag på 20,19 øre/kWh, og offentlige avgifter ligger på 11,29 øre/kWh (Hafslund, 2012).

Totalt blir elektrisitetsprisen benyttet i beregningene på 91,97 øre/kWh, inkludert merverdiavgift blir dette 114,96 øre/kWh.

Elektrisitetsbruken for konsept 1 og 2, utenom det som går med til teknisk utstyr, skal dekkes av solcellenes produksjon i henhold til energibalansen i Powerhouse sin plussusdefinisjon. Uavhengig av dette vil byggene måtte dekke energibruken til teknisk utstyr. Ved beregningene betraktes energibruken over et år, og det sees bort i fra sesongvariasjoner for solcellens produksjon av elektrisitet. Verken konsept 1 eller 2 produserer nok energi gjennom solcellepanel på tak til å dekke det totale behovet for levert elektrisitet sett over ett år. Det må dermed kjøpes noe elektrisitet fra

kraftnettet. For konsept 1 må det årlig kjøpes inn 15 813,6 kWh, mest det for konsept 2 kun må kjøpes inn 1 371,6 kWh.

6.1.8 Nøkkeltall

Der annet ikke er spesifisert er det antatt middelveier for nøkkeltall. Det benyttes rund sum (RS) på kostnader som er like for alle konsepter, og som er uavhengige av energiltak. Dette gjøres for å lette sammenligningen, og for å få frem de viktigste forskjellene mellom konseptene. Nøkkeltall er justert for å tilpasses det aktuelle byggeprosjektet, benyttede justeringsfaktorer er oppgitt i Tabell 12.

Tabell 12 – Justeringsfaktorer for nøkkeltall

Forhold	Justeringsfaktor	Kommentar
Geografisk betingede	1,00	Casebygget ligger innenfor referanseområdet, sentrale Østlandsområdet.
Størrelsesfaktorer	1,00	Nøkkeltall fra databaser synes å være representative for kontorbygg av casebyggets størrelse. Det er ikke grunnlag for øvrige justeringer av nøkkeltall.
Lokale faktorer	1,00	Ingen kjente forhold som vil påvirke priser i en retning bestemt retning.
Markedsfaktor		
Kalkulasjonsnøkkelen (HPK)	1,20	Oppjustere grunnet generelt lavt prisnivå (Listerud, 2012a). Priser er oppgitt for 2012.
Norsk Prisbok (NPB)	1,1025	Priser er oppgitt per august 2010, justeres etter byggevareindeksen til 2012 priser.
REBAB Fakta (REP)	1,1025	Priser oppgitt per november 2010, justeres etter byggevareindeksen til 2012 priser.
Erfaringstall/tall fra leverandører	1,00	Ingen justering ettersom disse antas å være gjeldende for dagens marked.

6.1.8.1 Priser på solcellepanel

Priser for solceller på tak er utarbeidet fra prisestimer fra REC for "High Performance"-moduler, med en effekt på 20 % og 330 W (Moen, 2012). Disse panelene har et areal på 1,7x1 m² og koster omtrentlig 1,2 EUR/Wp. Denne prisen er basert på nåværende Tyske priser, og forutsettes å også gjelde moduler med en effekt 333 W, slik som skal benyttes i konsept 1 og 2. BOS kostnader, som omfatter samtlige kostnader utover selve solcellemodulene (montasje, prosjektering, kabler etc.), oppgis å være på 0,6-0,9 EUR/W for Tyskland. På grunn av mindre konkurranse mellom leverandører og generelt mindre marked for solceller i Norge vil trolig BOS kostnadene være høyere. Antar en BOS kostnad på 1,4 EUR/W for Norske installasjoner. Med en eurokurs på 7,57 NOK (Norges Bank, 2012b) beregnes en pris på 3 855,4 kr/m² installert solcelle. Det er ikke tatt hensyn til eventuell tilknytning til elektrisitetsnettet ved prisingen.

6.1.8.1 Priser på ventilasjonsanlegg

Det er hentet priser på nytt CAV-anlegg fra Randem & Hübert AS. Prisene er basert på de beskrevne konseptene og informasjon om kontorblokken. Prisen er oppgitt for aggregat med roterende varmegjenvinner som har en totalvirkningsgrad på 80 % og SPF lavere enn 2,00. Priser på kammergjenvinnere med høyere virkningsgrad var ikke tilgjengelig fra overnevnte leverandør, men vil trolig ikke være utslagsgivende på den totale investeringskostnaden. Klimaentreprenør opplyser samtidig at kammergjenvinner generelt ikke benyttes ved større kontorbygg. Basert på dette benyttes pris for overnevnte roterende varmegjenvinner også for konsept 1 og 2. Prisene dekker nytt aggregat ferdig montert, lydfeller og nye kanalanslutninger, automatikk og elektrikerarbeider. Prisene er noe høyere ved større luftmengder, blant annet på grunn av behov for større aggregat. I forbindelse med standard oppgradering blir prisen 580 000 kr, mens for plusshuskonseptene blir prisen 420 000 kr (Nilsen, 2012).

6.1.8.1 Priser på sjøvann-varmepumpe

ABK klima AS har stått for prising av ny sjøvann-varmepumpe i forbindelse med oppgraderingskonseptet. Dette er gjort med grunnlag i SIMIEN-resultater for konsept 1 og 2, og kostnaden vil være tilnærmet lik for de to konseptene. Ved installasjon av nytt system for sjøvann-varmepumpe må det etableres en brønnpark og denne må føres helt frem til bygningen. Selve varmepumpen må også installeres inni bygget, og ved en utskiftning er det kun denne som må byttes ut. Total investeringskostnad ved oppgraderingen er på 1 600 000 kr eksklusiv merverdiavgift. Dette inkluderer elektriker- og rørleggerarbeider (Arnesen, 2012).

6.2 Resultater fra LCC-beregningene

Her presenteres hovedtrekkene i resultatene fra LCC-beregningene for de tre konseptene. Mengder til grunn for beregningene ligger vedlagt i vedlegg 10, og de detaljerte beregninger for hvert konsept ligger vedlagt i vedlegg 11.

Tabell 13 viser nåverdien av analyseperiodekostnaden fordelt på hovedpostene i LCC-beregningene.

Tabell 13 – Sammendrag av analyseperiodekostnadens nåverdi

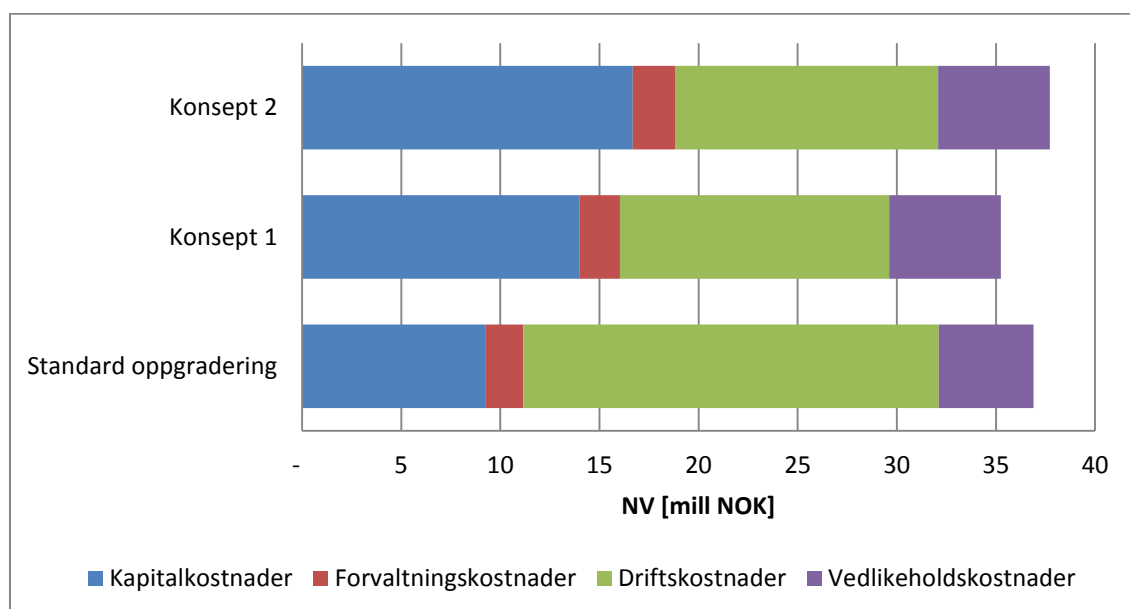
Post	Standard oppgradering	Konsept 1	Konsept 2
Kapitalkostnader	9 272 634	13 985 724	16 678 692
Forvaltningskostnader	1 891 815	2 044 968	2 132 477
Driftskostnader	20 961 304	13 582 395	13 270 660
Vedlikeholdskostnader	4 770 983	5 633 276	5 633 276
Nåverdi av analyseperiodekostnad	36 896 737	35 246 364	37 715 105

Fordelt på analyseperioden på 25 år gir dette årskostnadene som vist i Tabell 14.

Tabell 14 – Sammendrag av analyseperiodekostnadenes årskostnad

Post	Standard oppgradering	Konsept 1	Konsept 2
Kapitalkostnader	593 560	895 254	1 067 636
Forvaltningskostnader	121 099	130 902	136 504
Driftskostnader	1 341 774	869 436	849 481
Vedlikeholdskostnader	305 400	360 597	360 597
Årskostnad	2 361 833	2 256 189	2 424 218

Beregningene viser at de tre konseptene ender opp med tilnærmet like analyseperiodekostnader. Likevel skiller konseptene seg fra hverandre med tanke på fordeling av kostnader mellom de ulike postene, dette er illustrert i Figur 20.



Figur 20 – Analyseperiodekostnad fordelt på hovedpostene

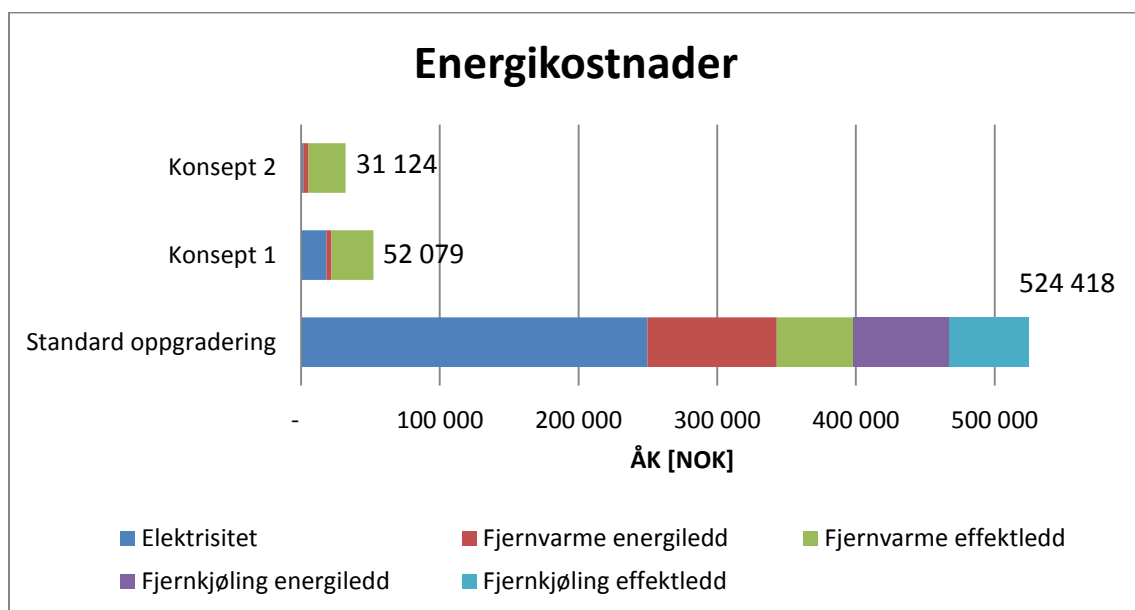
Grafen viser at det i hovedsak er postene kapitalkostnader og driftskostnader som utgjør forskjellen mellom konseptene. Ved å gå fra standard oppgradering til oppgradering på to ulike plussusnivå øker andelen kapitalkostnader, samtidig avtar driftskostnadene.

Resultatene viser at restverdien til bygget på slutten av analyseperioden har lite å si for den totale kostnaden, mens prosjektkostnad spiller en vesentlig større rolle. Prosjektkostnaden for plussuskonsept 1 er 50,8 % høyere enn for standard oppgradering. Dette er i tråd med uttalelse fra Entra Eiendom om at plussus forventes å ha omtrentlig 50 % høyere investeringskostnader enn en TEK 10 oppgradering. Beslattes det å gjennomføre plussuskonsept 2 øker prosjektkostnadene ytterligere 19,3 %, og dette konseptet krever 79,8 % større investering enn standard oppgradering.

Det er i oppgaven ikke tatt hensyn til eventuelle støtteordninger som kan bidra til å redusere investeringskostnaden for utbyggeren.

Som illustrert i Figur 20 er det kun små forskjeller mellom vedlikeholdskostnadene for de tre konseptene. Tillegget utover referanseverdien for konsept 1 og 2 utgjør kun en liten andel av de totale vedlikeholdskostnadene.

Energiposten er utslagsgivende for driftskostnadene ettersom øvrige underposter er like for de tre konseptene. Figur 21 illustrerer en markant forskjell mellom årlige kostnader knyttet til energibruk mellom standard oppgradering og de to plussuskonseptene.



Figur 21 – Fordeling av energikostnader

Elektrisitetskostnadene utgjør omtrentlig halvparten av de årlige utgiftene knyttet til energibruk for standard oppgradering. For konsept 1 og 2 er det fjernvarmens effektledd som dominerer kostnadene. Dette skyldes at fjernvarme skal dekke spisslasten for oppvarming og det er dermed behov for stort effektuttak i forhold til energiuttaket.

6.3 Beregning av klimagassutslipp (LCA)

I dette kapitlet er de benyttede modulene i KGS beskrevet sammen med en redegjørelse av forutsetninger og antagelser lagt til grunn for disse beregningene. KGR håndterer ikke avhendingsfasen og materialer som rives, videre gjøres det dermed en separat beregning av utslipp fra riveprosessen. Avslutningsvis er fordelingen av utslipp over bygningens livsløp klarlagt.

6.3.1 Analyseperiode og systemgrense

Ved klimagassberegningene benyttes samme analyseperiode som ved LCC-beregningene, det vil si fra oppstart av oppgraderingen frem til neste oppgradering. Byggets antatte restlevetid på 60 år korresponderer med standard levetid i modellen. Ved eventuelle avvik mellom standard materiallevetider og antatte levetider i denne oppgaven er det foretatt justeringer.

Ettersom oppgraderingen av casebygget ikke innebærer endringer av eksisterende tomt eller uteområde er det besluttet å ikke inkludere modulene tomtevalg og uteområde i beregningene.

6.3.2 Prosjektbeskrivelse og utslippsfaktorer

Det er benyttet samme prosjektbeskrivelse for samtlige konsepter siden de kun er variasjoner av samme casebygg.

Ved fastsettelse av årsmiddeltemperatur er det er valgt å se på normalperioden fra 1961-1990. Byggets plassering er midt mellom to værstasjoner, Fornebu og Dønski. Årsmiddeltemperaturen fra Fornebu er valgt fordi casebyggets lokalisering minner mest om Fornebu, med en h.o.h. på 10 meter og nærheten til havet (Meteorologisk Institutt, 2008). Dette gir en årsmiddeltemperatur på 5,9 °C. Også dimensjonerende sommertemperatur (DUTS) er hentet fra værstasjonen på Fornebu. Temperaturen er fra normalperioden 1957-1976, og er basert på tørrkuletemperatur og er på 25,7 °C (Wolleng, 1979). Det er antatt at casebygget ligger omtrentlig 8 m over havet.

Det antas å være 20 m² BRA per ansatt ettersom det er en stor andel kontorlandskap og fellesarealer ikke er inkludert utover det som er innenfor selve kontorblokkens bygnings skall (Selvig, et al., 2009). Antall ansatte settes med dette til 122 stk. I tillegg antas det å være 10 besøkende daglig, hovedsakelig gjennom møtevirksomhet og leveranser.

Det er valgt å benytte modellen standardverdi for utslippsfaktor, 2-graders-målet. Startår for materialmodul er satt til 2013, mens det er satt til 2014 for både transport og stasjonær energi i drift i tråd med den antatte byggetiden.

6.3.3 Anleggsfase

I denne delmodulen skal det legges inn data om transport, anleggsmaskiner og stasjonært energibruk i anleggsfasen. Dette inkluderer antall kjøreturer med tunge og lette kjøretøy, kjørelengder og forbruk av energivarer.

Det er vanskelig å få data om anleggsfasen i forkant av prosjektet, alternativet er å benytte erfaringstall fra lignende prosjekter justert for lokale forhold. I forbindelse med denne oppgaven har det vært vanskelig å få tak i nøkkeltall for anleggsfasen. KGR har publisert eksempler på klimagassregnskap for åtte utvalgte prosjekter, men samtlige av disse ekskluderer utslipp fra anleggsfasen (Selvig, et al., 2011). Det er forsøkt å kontakte sentrale aktører i byggebransjen, men det har ikke vært mulig å få tak i god data på dette. Trolig registreres slikt hos entreprenører, men det er per i dag ikke gjort tilgjengelig for bransjen for øvrig.

En gjennomgang av tidligere beregninger viser samtidig at anleggsfasen kun utgjør en liten del av utslippene i bygningens livsløp. I et notat utarbeidet av KanEnergi viser at bygg og anleggsvirksomhet kun står for 1,2 % av totalutslippet i Norge, dette utgjør 9,2 % av klimagassutslippene fra byggsektoren (Bernhard & Jørgensen, 2007). Dette støttes i casestudier av kontorbygg, der det er beregnet at anleggsfasen sto for 1,7 % av de totale utslippene over byggets livsløp (Junnila & Horvath, 2003).

Grunnet lite tilgjengelig informasjon og anleggsfasens relative betydning i bygningens livsløp velges det å se bort i fra utslipp fra anleggsfasen i denne oppgaven.

6.3.4 Materialer

Materialmodulen beregner utslipp fra materialene som inngår i oppgraderingen, definert som oppbyggingsprosessen i prosjektets systemgrense. Det benyttes "Prosjektert Materialmodul" siden dette gir større rom for endringer og tilpassing til det aktuelle bygget, og er dermed mer egnet ved rehabiliterings- og ombyggingsprosjekter (Selvig, 2012b). Prosjektert materialmodul innebærer at alle materialmengder må legges inn manuelt, enten som basismaterialer eller som bygningselementer. Det er kun materialene som inngår i oppgraderingen som legges inn i denne modulen. Det som består fra det opprinnelige bygget legges ikke inn, og det forutsettes med dette at det eksisterende ikke medfører utslipp i analyseperioden som betraktes her.

Så langt det har vært mulig har materialene som inngår i de ulike konseptene blitt lagt inn i modellen. Likevel kan beregningene kun sies å være grove estimat av de faktiske utslippene grunnet mangel på spesifikt datagrunnlag og manglende materialdatabase i KGR.

Det er ingen mulighet til å legge inn materialer som går med til tekniske anlegg, og beregningen omfatter dermed kun de bygningsmessige komponentene. Tidligere beregninger i KGR har gjennomgående sett bort i fra tekniske installasjoner, og de som har gjennomført beregninger av disse utslippene har generelt funnet lave utslippsverdier (Selvig, 2012b). Det vil likevel gi en underestimert av de faktiske utslippene, og ulik grad av teknikk mellom de ulike konseptene vil kunne innvirke på hvordan disse presterer i forhold til hverandre.

Det antas å ikke benyttes resirkulerte materialer ettersom det er lite data for resirkulerte materialer i KGR materialdatabase. Omfanget av ombruk av materialer begrenser seg til en andel av gipsplatene ved standard oppgradering og konsept 1. Den andelen av gipsplater som antas brukt på nytt ved oppbyggingen genererer verken utslipp i forbindelse med rive- eller oppbyggingsprosessen.

En oversikt over innlagte materialmengder er vedlagt i vedlegg 12.

6.3.5 Stasjonær energi

Ved beregning av stasjonær energi er det benyttet modul for eksisterende bygg. I denne modulen oppgis informasjon om levert energi til bygget, fordelt på ulike energikilder. Data som legges inn her er basert på informasjon fra SIMIEN-beregningene. Det er valgt å benytte modulen for eksisterende

bygg til tross for at oppgraderingsprosjektet kun er i prosjekteringsfasen. Dette er fordi denne modulen gir mulighet til å legge inn solcelleproduksjon av elektrisitet, i motsetning til modulen for nytt bygg.

Casebygget er tilknyttet fjernvarme, og i modellen må fjernvarmefaktoren beregnes spesifikt for hvert prosjekt med informasjon fra den lokale fjernvarmeleverandøren. I dette tilfelle benyttes Bærum Fjernvarme, som leverer både fjernvarme og -kjøling til bygget i dag. De oppgir at energiforsyningen er stabil, samtidig som deres virksomhet stadig vokser (Heen, 2012). Grunnlasten (90 %) dekkes i dag av varmepumpe med avløpsvann fra Oslo. Til å dekke spisslasten (10 %) benyttes det oljekjel. I tillegg bygges det per i dag et nytt pelletsanlegg. Dagens energimiks antas å gjelde fremover og dermed for hele analyseperioden. Det er ikke mulig å spesifisere energikildene for fjernkjøling slik som ved fjernvarme. Dette er trolig fordi fjernkjøling tidvis er et biprodukt av fjernvarmeproduksjonen.

6.3.6 Transport

Transportmodulen beregner utslipp fra transport til ansatte og brukere av bygget i driftsperioden. I oppgaven benyttes standardverdier fra reisevaneundersøkelsen for 2009, som ligger i versjon 4 av modellen, ettersom mer spesifikk data ikke er tilgjengelig.

Standardverdier for kontorbygg benyttes i forbindelse med bestemmelse av antall turer per dag per ansatt og brukere av bygget. Videre spesifiseres reisemiddelfordelingen, herunder andel gang/sykkel, kollektivt og bil, i tillegg til kjørehastigheter og -lengder. Til dette benyttes verdiene fra "omegn til Oslo", som antas å være relevante for casebygget. Trolig vil likevel bruk av standardverdiene gi noe overestimering av utslipp fra denne delmodulen, ettersom casebygget ligger med god nærhet til kollektivtransport og hovedveiene til Oslo (E18). Andelen kollektivtransport vil dermed muligens ligge noe høyere enn antatt her.

I modellen skal det legges inn en faktor for parkering, der 1 korresponderer til fri parkering og 0,1 til ingen parkeringsmuligheter. Parkeringsplassene i P-huset på Kjørboparken leies ut, prisen er kr 1000 pr. måned pr. plass (Iversen, 2012b). Det antas at det er arbeidsgiver som betaler/leier parkeringsplasser, og derfor settes parkeringsverdien lik 0,5 for de ansatte. Andre brukere av bygget må betale for parkering på offentlige parkeringsplasser på området. Dette gir en parkeringsverdi lik 0,4.

6.3.7 Utslipp fra riveprosessen

Det er kun utslipp fra det byggeavfall som sendes til deponi som tas hensyn til i denne forbindelse i, henhold til den definerte systemgrensen. En stor andel av avfallet som genereres i byggebransjen er resirkulerbar, men kun begrensede mengder gjenvinnes i praksis (Bohne, et al., 2008). TEK 10 stiller krav om at minst 60 vekt- % av rivemengder skal sorteres på byggeplass (Lovdata, 2012a). På bakgrunn av dette antas det at en stor andel av byggeavfallet sorteres i ulike avfallsfraksjoner før deponering. Det er gjort antagelser om hvordan de største avfallsfraksjonene i dette prosjektet er håndtert, dette er presentert i Tabell 15:

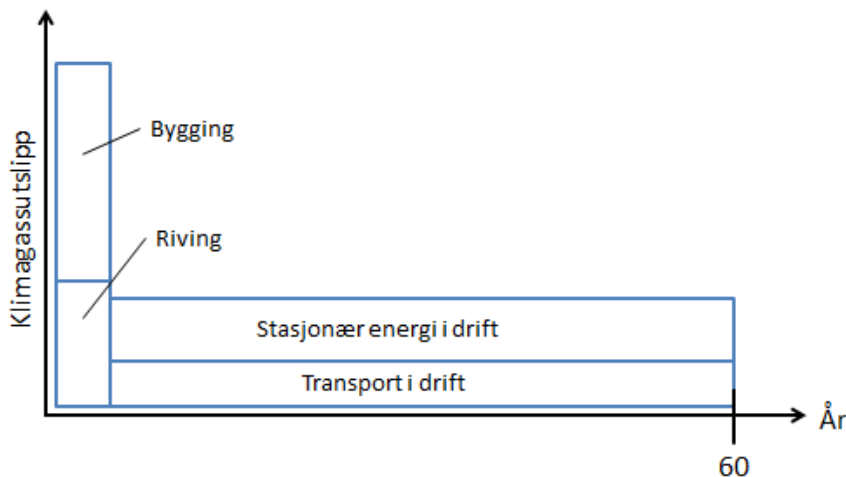
Tabell 15 – Valgt håndteringsmetoder for byggeavfall

Avfallsfraksjon	Håndteringsmetode
Trevirke	Alt av trevirke energigjenvinnes
Glass	Sendes til deponi
Aluminium	Alt av aluminium sendes til gjenvinning
Isolasjon	Sendes til deponi
Gipsplater	Sendes til deponi
EE-avfall	Alt a EE-avfall antas å leveres til gjenvinning

På bakgrunn av dette beregnes det ingen utslipp fra aluminium og EE-avfall i riveprosessen. Utslipp fra avfallsfraksjonene som sendes til deponi og energigjenvinning beregnes i kg CO₂-ekvivalenter, og antas å oppstå når disse mengdene genereres (i riveprosessen).

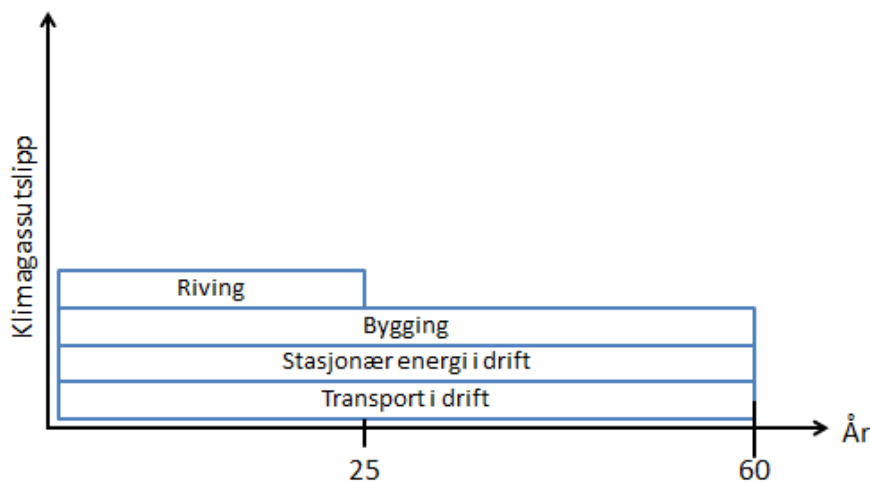
6.3.8 Fordeling av utslipp over byggets livsløp

Utslippene fra de ulike modulene og prosessene oppstår ikke til samme tidspunkt. Figur 22 viser når de ulike utslippene oppstår i løpet av byggets livstid. Det totale utslippet over hele livsløpet er lik summen av alle disse utslippene.



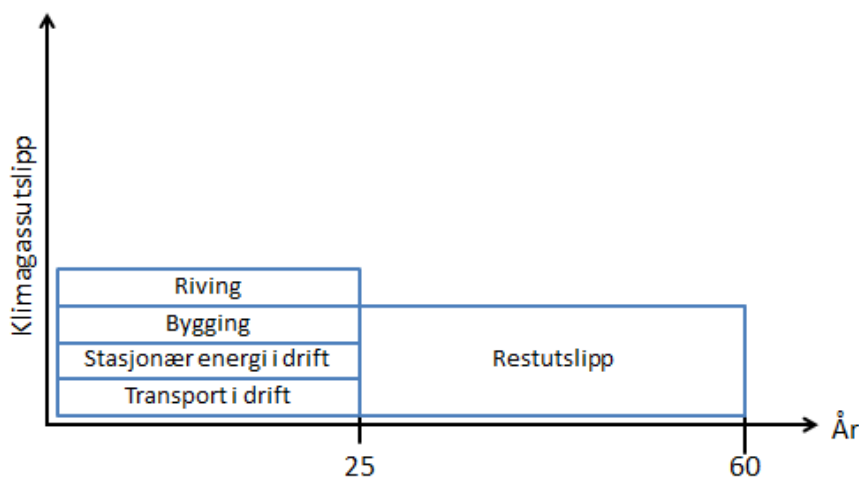
Figur 22 – Klimagassutslipp fra ulike prosesser

Det er vanlig å fordele det totale utslippet utover levetiden, og dermed operere med utslipp per år, som vist i Figur 23. Samtlige utslipp fra riveprosessen tilskrives den aktuelle oppgraderingen, og skal derfor fordeles over analyseperioden på 25 år.



Figur 23 – Klimagassutslipp fordelt over hele levetiden

I denne oppgaven benyttes en analyseperiode som er kortere enn byggets levetid. Analogt som ved LCC beregnes dermed utslippene over de første 25 årene, samt et restutslipp (Figur 24).



Figur 24 – Klimagassutslipp fordelt over analyseperioden

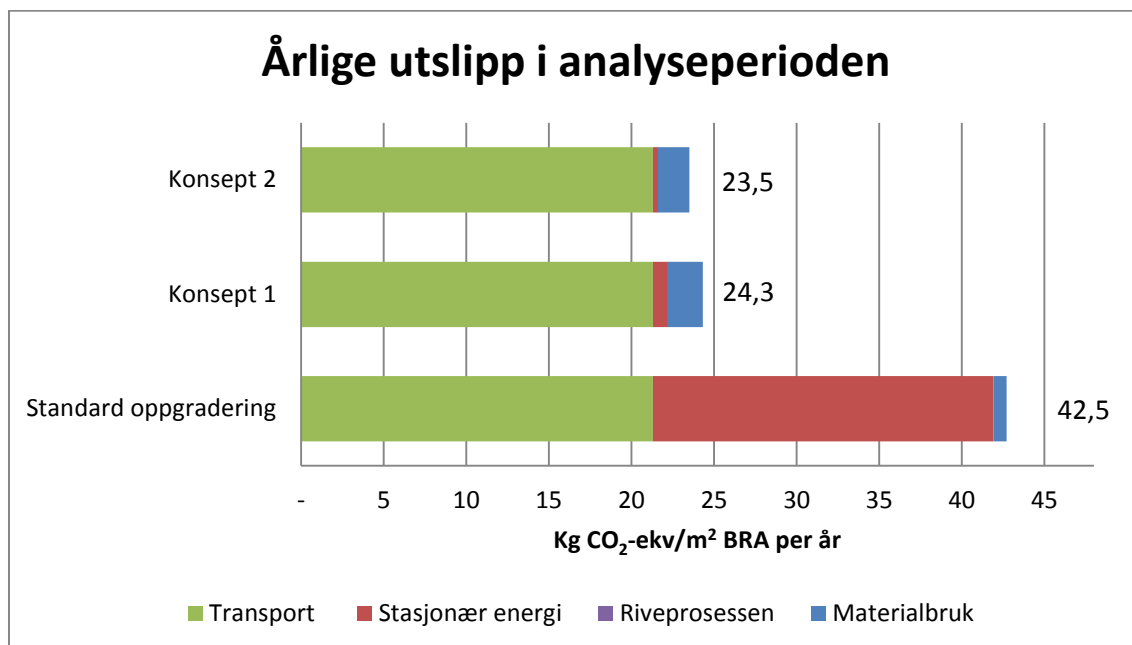
Restutslippet er summen av utslippene over restlevetiden på 35 år. Hva som skjer med dette restutslippet vil avhenge av hva som besluttes å gjøre med bygget etter analyseperioden er over. I forkant av en slik beslutning gjøres det en vurdering av byggets tekniske tilstand og graden av tilpasningsdyktighet. Det vil ved eksisterende bygg alltid være en avveining mellom det å oppgradere/rehabiliterer eller bygge nytt, eventuelt la bygget stå som det er. Den antatte restlevetiden til bygget vil i stor grad være avgjørende for hvilke tiltak som er lønnsomme å gjennomføre på det aktuelle bygget. Besluttes det å gjennomføre en ny oppgradering etter den antatte brukstiden må det gjennomføres nye beregninger, slik som er gjort i denne oppgaven, for en ny analyseperiode.

Uavhengig av hva som besluttes å gjøre med bygget videre, forutsettes det at restutslippet fra syklusen vurdert i denne oppgaven inngår i den neste syklusen. På denne måten kan restutslippet betraktes som bundet utslipp analogt med bundet energi. Disse er gitt ved det eksisterende bygget, og bringes videre i vurderinger gjennom bygningens livsløp.

6.4 Resultater fra LCA-beregningene

Her presenteres en oversikt over resultatene fra de gjennomførte klimagassberegningene. Detaljerte resultater fra KGR ligger vedlagt i vedlegg 13, og en fullstendig beregning av utslipp fra riveprosessen finnes i vedlegg 14.

Figur 25 viser de årlige utslippene fra hvert av konseptene fordelt på m² BRA.

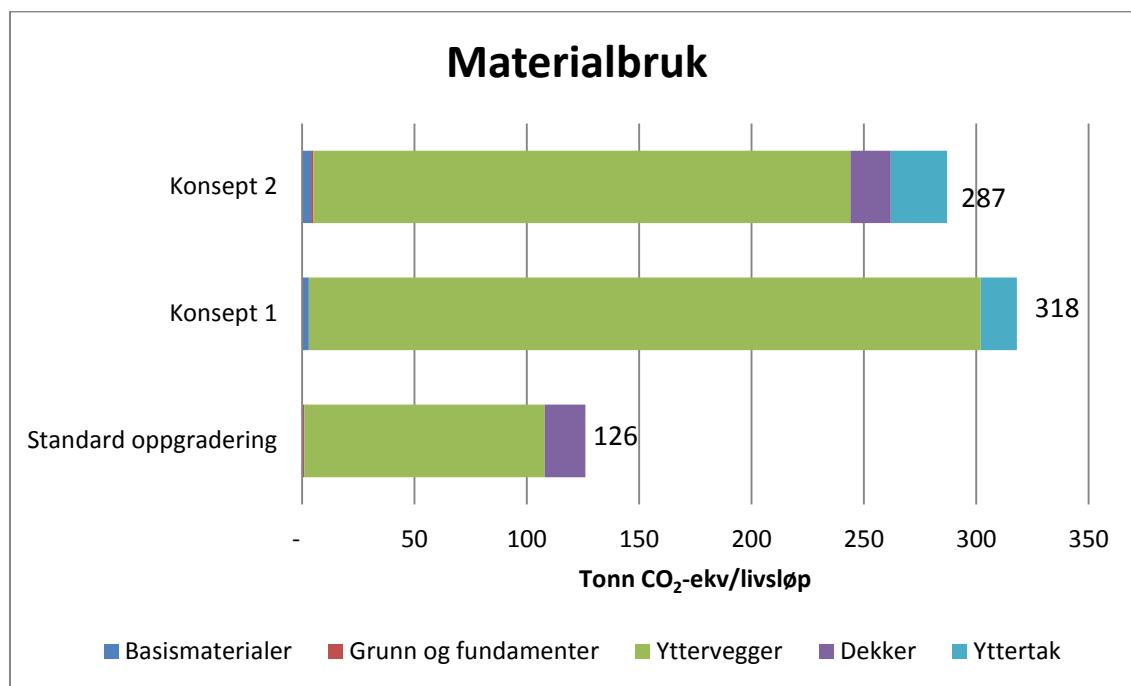


Figur 25 – Årlige utslipp i analyseperioden

Grafen viser at standard oppgradering har betydelig større årlige utslipp enn de to plusshuskonseptene. Dette skyldes i hovedsak utslipp fra stasjonær energi i drift. Transportmodulen er lik for alle konseptene, og bidrar med en stor andel av de årlige utslippene. Konsept 1 og 2 kommer relativt likt ut, med små forskjeller i andel utslipp fra stasjonær energi og materialbruk. Samtlige konsepter har kun minimale utslipp fra riveprosessen relativt til de andre prosessene. Både konsept 1 og 2 tilfredsstiller passivhuskravet med utslipp mindre enn 25 kg CO₂-ekv./(m²år). Det bør poengteres at dette kravet gjelder nybygg, som gjerne har noe større utslipp enn rehabiliterings- og oppgraderingsprosjekter.

Generelt sett utgjør materialbruk ved rehabiliterings- og oppgraderingsprosjekter kun en liten andel av de totale utslippene. Dette er også tilfellet for casebygget. I tillegg ligger disse utslippene noe lavt i forhold til andre lignende prosjekter, ettersom det kun er bygningskroppen som er inkludert.

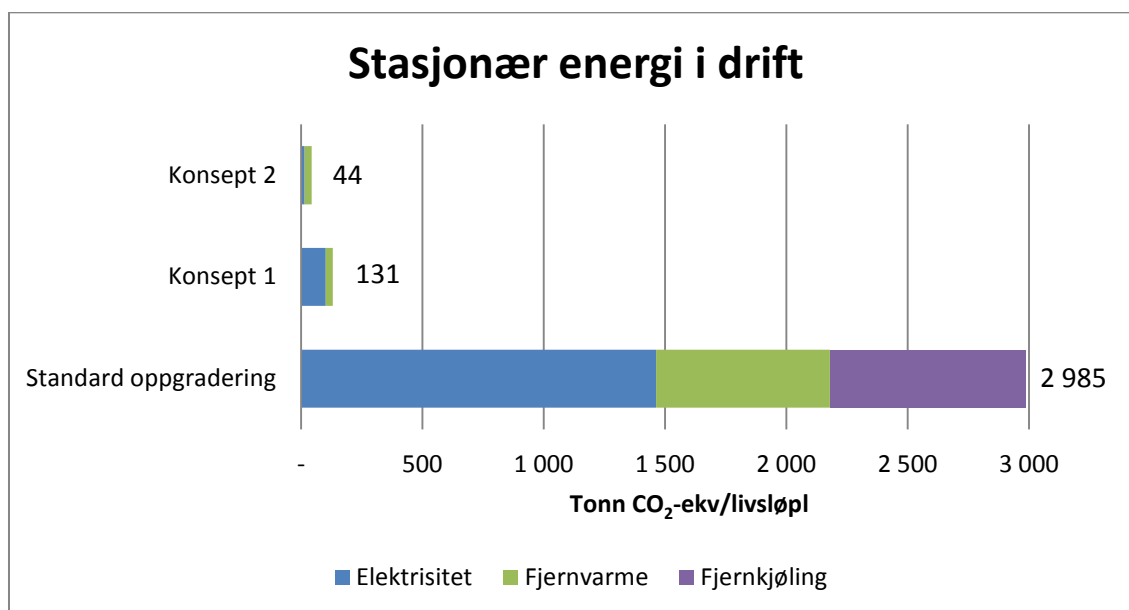
Utslippene fra materialbruk er også noe underestimert fordi materialer til tekniske anlegg ikke inngår i de innlagte materialmengdene.



Figur 26 – Utslipp fra materialbruk

Materialer som inngår i yttervegger dominerer utslippene for alle konseptene (Figur 26). Dette skyldes at de største inngrepene som er inkludert i oppgraderingen går på nettopp denne bygningsdelen. Herunder blant annet ny glassfasade, nye vinduer og utbedring av klimaveggen. Konsept 1 har størst utslipp fra materialbruk samlet sett til tross for at større andel av den eksisterende ytterveggkonstruksjonen skiftes ut i konsept 2. Dette er i hovedsak på grunn av større mengder aluminium i åpningsbare vinduer i forhold til fastkarmvinduene som er benyttet i konsept 2.

Stasjonært energibruk i driftsfasen bidrar til den største forskjellen mellom standard oppgradering og plusshuskonseptene. Elektrisitettuttak fra nettet gir store utslipp i motsetning til elektrisitet fra solceller. Dermed er det markante utslippsforskjeller knyttet til elektrisitetsbruken for standard oppgradering og de to plusshuskonseptene (Figur 27).

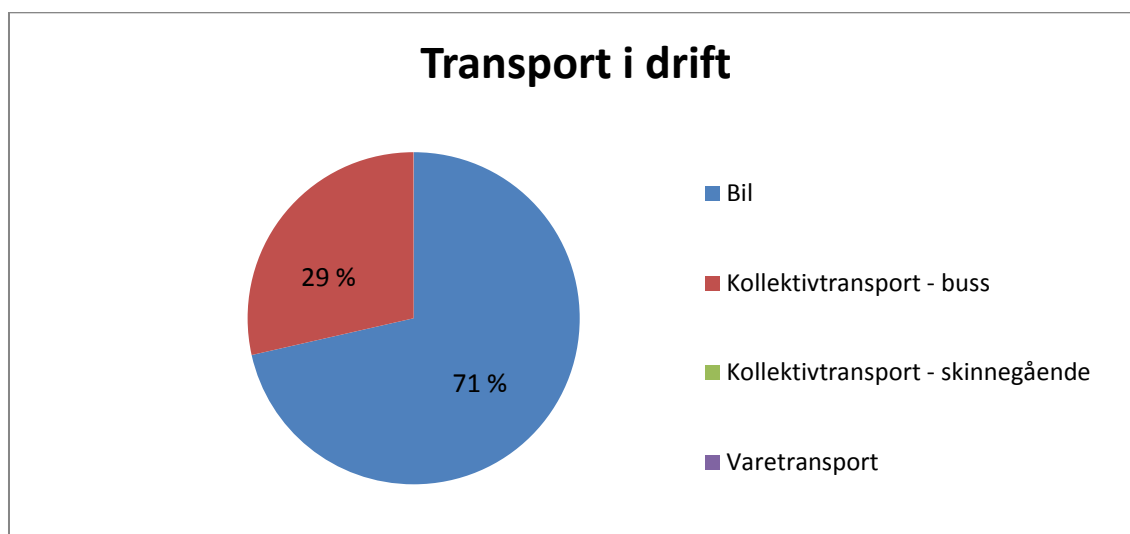


Figur 27 – Utslipp fra stasjonær energi i drift

Det fremkommer av figuren at det også er store utslippsreduksjoner som følge av å installere varmepumpe til å dekke kjøling og store deler av oppvarmingen, ettersom både fjernvarme og fjernkjøling har relativt store utslippsbidrag. Standard oppgradering kommer her dårlig ut sett i forhold til de andre konseptene, men likevel ligger utslippene fra energibruken lavt i forhold til andre kontorbygg på grunn av en stor andel fornybare energikilder.

Bruk av solcellepanel og varmepumpe tilegnes i beregningene kun små utslipp ettersom de regnes for å være nærmest utslippsfrie i driftsfasen. De eneste utslippene som knyttes til disse i LCA-beregningene er den lille elektrisitetsmengden som trengs for å drive disse systemene. I virkeligheten vil de likevel være forbundet med noe større klimagassutslipp. Dette utslippet kan inkluderes ved å legge tekniske anlegg inn i materialbruken som tidligere nevnt. Alternativt kan en utslippsfaktor for energiuttaket fra disse systemene angis. Utslippsfaktor for solcellepanel avhenger av produksjonssted og elektrisitetsmiksbenyttet i produksjonen. Basert på flere LCA studier av solcellepanel er det anslått en basisverdi på 0,0313 kg CO₂-ekv/kWh. Dette er betraktelig lavere enn utslippsfaktoren for elektrisitet fra nettet som er benyttet i oppgaven. På tilsvarende måte kan det antas å være en utslippsfaktor for energiuttak fra varmepumpe som ligger lavere enn ved bruk av fjernvarme.

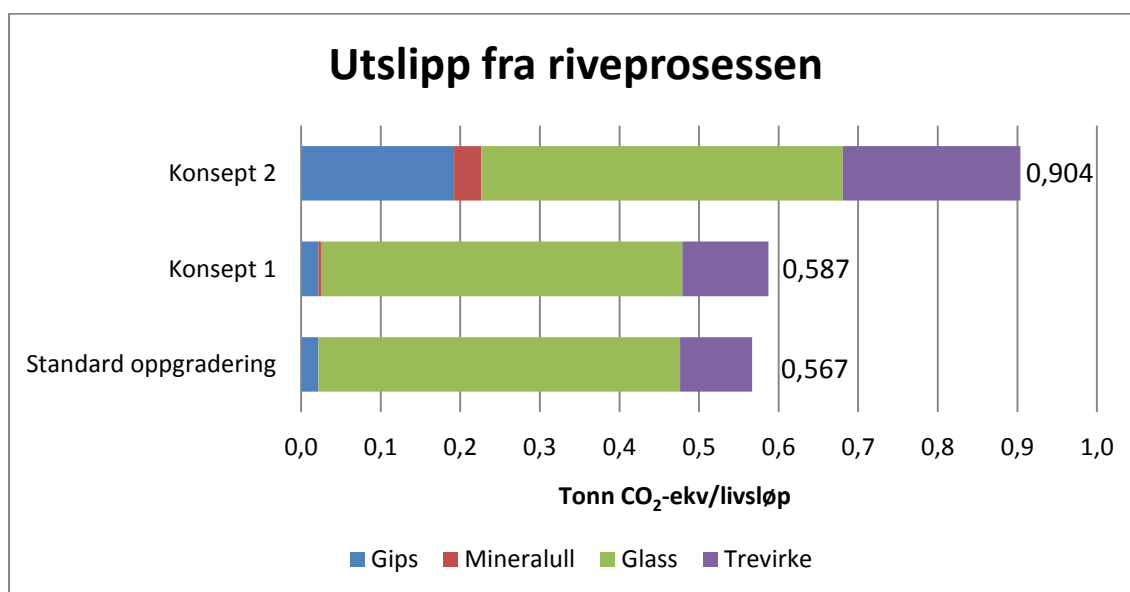
Transportmodulen er lik for alle konseptene, og gir følgelig like store utslipp. Totale utslipp er på 21,3 kg CO₂-ekv per m² per år, dette er lavere enn andre prosjekter i casebyggets nærområde. Klimagassberegninger foretatt tidligere av et bygg i Sandvika gir utslipp fra transport på omtrentlig 27 kg CO₂-ekv per m² per år (Selvig, et al., 2011). Utslipp fra transport i drift skyldes forbrenning av fossilt brennstoff, og som vist i Figur 28 er det biltransport som gir de største utslippene. I underkant av en tredjedel av utslippene kommer fra kollektivtransport med buss.



Figur 28 – Utslipp fra transport i drift

Denne grafen illustrer at byggets lokalisering har stor betydning for klimagassutslippene. Økt nærhet til kollektivtilbud vil føre til redusert bilbruk og dermed mindre utslipp. Dette er ikke noe som er mulig å påvirke ved eksisterende bygg, ettersom beliggenheten er gitt. Samtidig er de beregnede verdiene for casebygget trolig noe overestimert ettersom tilgangen til kollektivtransport er god sett i forhold til standardverdiene for Oslo omegn.

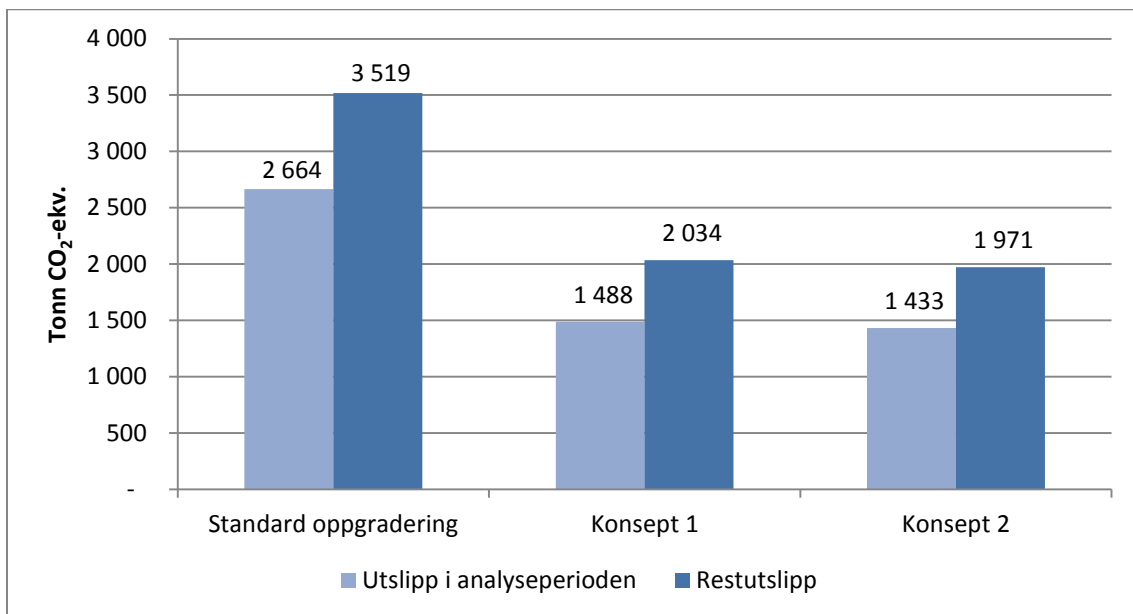
Utslipp fra riveprosessen har ikke vært inkludert i tidligere beregninger med KGR siden modellen ikke håndterer utslipp fra byggeavfall. Beregningene gjort i denne oppgaven viser at utslippene fra riveprosessen bidrar lite i forhold til de øvrige prosessene. Fra Figur 29 fremkommer det at det er glass som bidrar til de største utslippene i forbindelse med riveprosessen.



Figur 29 – Utslipp fra riveprosessen

Konsept 1 har noe større utslipp enn standard oppgradering grunnet riving av eksisterende gesims i forbindelse med tiltak på taket. Grafen viser at konsept 2 har det største utslippet for denne prosessen. Dette skyldes at det eksisterende bindingsverket, inkludert mineralull og gipsplater, byttes ut i sin helhet.

Utslippene som her er beskrevet fordeler seg over bygningens restlevetid på 60 år. Ettersom det i oppgaven kun sees på en analyseperiode på 25 år regnes det med et restutslipp på slutten av analyseperioden. Figur 30 viser totale utslipp i løpet av analyseperioden og restutslipp for hvert av konseptene.



Figur 30 – Samlet utslipp over analyseperioden og restutslipp

Grafen viser at det er standard oppgradering som har det største utslippet, både over analyseperioden, og over de resterende årene ut den totale levetiden. Konsept 1 og 2 kommer tilnærmet likt ut, med kun en liten reduksjon fra konsept 1 til 2.

7 Vurderinger

I dette kapitlet gjøres vurderinger rundt de gjennomførte beregningene. Innledningsvis drøftes feilkilder i resultater, før resultatene fra LCC- og LCA-beregningene vurderes samlet. Deretter knyttes resultatene opp mot bærekraft prinsippet for å kunne si noe om levedyktigheten til plusshusoppgradering. Avslutningsvis gjøres det en rekke sensitivitetsanalyser for å undersøke reliabiliteten til resultatene i oppgaven.

7.1 Drøfting av resultatene

I det følgende drøftes feilkilder i resultatene. Videre vurderes resultatene på tvers av LCC og LCA, og sentrale fokusområder som er identifisert gjennom beregningene presenteres.

7.1.1 Feilkilder

Det er flere feilkilder i oppgaven grunnet valg og antagelser som er gjort, samt på grunn av begrensinger i de benyttede metodene. Noen av disse vil kunne ha betydning for resultatene, og må klarlegges før en videre vurdering av resultatene.

Nye standarder for LCC og passivhus er ventet offentliggjort om kort tid. Oppgaven baserer seg primært på gjeldende standarder, men høringskast for de nye standardene er også betraktet. Det vil kunne bli små endringer i kravene som benyttes i oppgaven, men trolig vil endringene ha liten betydning for resultatene presentert her.

Generelt vil resultatene presentert i det foregående kapitlet underestimere de virkelige kostnadene og utslippene ettersom noen elementer er utelatt fra beregningene. Oppgavens beregningsrammer inkluderer kun bygningskroppen og tekniske anlegg, slik at innvendige arbeider ikke er inkludert. Likevel vil dette være likt for alle konseptene, og resultatene kan brukes til sammenligning av konseptene.

Materialutslipp knyttet til tekniske anlegg er ikke inkludert i LCA-beregningen. Dette medfører blant annet at utslipp fra solcellepanel og varmepumpe underestimeres, siden disse regnes som nærmest utslippsfrie under drift. Dette vil påvirke hvordan konseptene presterer i forhold til hverandre, siden de inneholder ulik grad av tekniske installasjoner. Erfaringsvis utgjør tekniske anlegg kun en mindre andel av det totale utslippet fra materialbruk. Dersom det benyttes utslippsfaktorer for å ta høyde for klimagassutslipp fra disse systemene, vil også verdiene ligge lavt i forhold til øvrige energikilder. Ettersom det er en stor differanse mellom de totale utslippene fra standard oppgradering og de to plusshuskonseptene, vil utelatelse av tekniske anlegg i LCA-beregningene antakelig ikke være avgjørende for resultatene.

I tillegg er det antatt at solcellepanel og økt grad av automatikk ikke medfører økte vedlikeholdskostnader. Det er derfor mulig at vedlikeholdskostnadene er noe underestimert i

beregningene. Økt andel tekniske systemer i de to plusshuskonseptene vil kunne gi både økte vedlikeholdskostnader og utslag i servicekostnadene.

I oppgaven er det benyttet en referanseverdi for vedlikeholdskostnader som antas å gjelde for standard oppgradering over en restlevetid på 60 år. Verdien antas i tillegg å gjelde analyseperioden, som utgjør de første 25 av disse. Referanseverdien angir den totale vedlikeholdskostnaden fordelt på byggets totale levetid, og er basert på kostnadene for et bygg med en levetid på 60 år. Casebygget på sin side forutsettes å ha en total levetid på rundt 90 år. Generelt vil eldre bygg kreve mer vedlikehold, spesielt mot slutten av levetiden. I tillegg vil det ved en total levetid på 90 år mest sannsynlig være behov for utskiftning av komponenter som antas å vare ut en levetid på 60 år. Dermed vil en utvidet vedlikeholdsperiode antakelig medføre at referanseverdien er en underestimert av de faktiske kostnadene. Likevel skiftes mange av komponentene ut i forbindelse med oppgraderingen, slik at store deler av bygget kan regnes å være som ved et nytt bygg.

Det er noen forskjeller mellom konseptene med tanke på hvor mye av det eksisterende bygget som skiftes ut. Ved å benytte referanseverdien for vedlikeholdskostnader tjenes mindre på å skifte ut bygningsmessige komponenter, ettersom dette trolig vil redusere reelle vedlikeholdskostnader. Blant annet vil det redusere behovet for fremtidige utskiftninger. Som et resultat kommer muligens ikke besparelsene som følge av utskiftninger like godt frem som i virkeligheten. Samtidig vil denne effekten i stor grad opptre på lang sikt, slik at beregningene fortsatt vil være gyldige for den betraktede analyseperioden.

Det er mange utfordringer knyttet til oppgradering til plusshus. Det er vanskelig å ta høyde for alle disse i beregningene. Per i dag er det for eksempel et lite marked for tilfredsstillende bygningskomponenter og tekniske anlegg. Det ble tydelig ved innhenting av priser at det er begrenset tilgjengelighet på både solcellepanel og varmegjenvinner med høy nok virkningsgrad. Dette kan medføre at kostnaden av disse komponentene blir dyrere enn det som fremkommer i oppgaven. I virkeligheten vil solcelleproduksjonen variere kraftig over året, og innebærer at bygget enten må tilknyttes elektrisitetsnettet eller installere et batteri for lagring av elektrisiteten. Både tilkobling til nettet og installasjon av batteri vil medføre økte prosjektkostnader for plusshuskonseptene. I tillegg er produksjonen av batterier forbundet med utslipp av farlige stoffer, og vil påvirke byggets miljøprestasjon.

Til tross for de overnevnte feilkildene er det grunn til å tro at resultatene vil gi en god indikasjon på konseptenes økonomiske- og miljømessige prestasjoner.

7.1.2 Vurdering av konseptene på tvers av LCC og LCA

Resultatene fra LCC- og LCA-beregningene er tidligere presentert separat. Nå knyttes disse resultatene sammen for å sammenligne konseptene på tvers av økonomi og miljø.

7.1.2.1 Rangering av konseptene

Konseptene rangeres ikke likt innen LCC og LCA (Tabell 16). I LCC-beregningene er det konsept 1 som gjør det best, mens konsept 2 gjør det noe bedre i LCA-beregningene.

Tabell 16 – Rangering av konseptene

Rangering	LCC	LCA
1	Konsept 1	Konsept 2
2	Standard oppgradering	Konsept 1
3	Konsept 2	Standard oppgradering

LCC-beregningene for analyseperioden gir ingen klar preferanse siden det kun er små forskjeller i analyseperiodekostnaden til de tre konseptene. Til tross for at prosjektkostnadene ved konsept 1 er over 50 % høyere enn ved standard oppgradering, er besparelsene fra reduksjon av behov for kjøpt energi tilstrekkelig til å veie opp for dette. Differansen mellom konseptene kan endre seg dersom analyseperioden forlenges. Da vil besparelsene knyttet til energikostnader øke, og i større grad kompensere for økte kapitalkostnader.

Når det gjelder LCA er det store differanser mellom de to plussuskonseptene og standard oppgradering. Denne forskjellen skyldes primært forskjellen i kjøpt elektrisitet, som genererer store utslipp. Utslipp fra stasjonær energi er relativt sett betydelig større enn utslipp fra materialbruk. Dermed gir ikke mindre materialbruk knyttet til standard oppgradering store utslag på den totale prestasjonen. Det skal påpekes at utslippene fra materialbruk er noe underestimert, og vil trolig øke mer for plussuskonseptene enn for standard oppgradering dersom tekniske anlegg inkluderes.

Dersom det sees på tvers av LCC og LCA er det konsept 1 som presterer best. Den har den laveste analyseperiodekostnaden, og kun marginale forskjeller innen klimagassutslipp forhindrer dette konseptet fra å gjøre det best også innen LCA.

7.1.2.2 Fokusområder

Det er energibruk og omfang av tiltak på bygningskroppen som skiller seg ut som faktorene med størst betydning for resultatene, og som samtidig er mulig å påvirke gjennom konseptvalg for oppgraderingen. Energibruken har stor innvirkning på både LCC og LCA. Kjøp av energi er svært kostbart, og det ligger store besparelser i det å produsere egen energi. Til dels veies dette opp for ved økte prosjektkostnader og materialbruk. Disse to elementene er innbyrdes avhengige og en direkte konsekvens av konseptenes omfang.

Følgelig er det vesentlig å fokusere på energibruken på to ulike områder. Det er viktig å velge miljøvennlige energikilder for å redusere klimagassutslipp. I tillegg bør det etterstrebes å produsere mest mulig egen energi for å redusere kostnadene til kjøp av energi. Sentralt innen begge disse områdene er elektrisitet. Denne energikilden er både forbundet med store utslipp og er kostbar å kjøpe fra elektrisitetsnettet.

Det vil også være viktig å fokusere på å begrense omfanget av tiltak på bygningskroppen. Dette kan blant annet gjøres ved å ta vare på det som er verdt å ta vare på i det eksisterende bygget. I tillegg bør det gjøres avveininger mellom hvilke tiltak som er nødvendige å gjennomføre. Dette vil både redusere materialbruken og gi lavere prosjektkostnader. Samtidig er det viktig at dette ikke går på bekostning av kvaliteten på bygget, slik at det likevel oppfylles ønskede funksjonskrav og krav til sikkerhet.

7.2 Knytting av resultatene opp mot bærekraft og levedyktighet

Begrepene bærekraft og levedyktighet er begge synonyme begreper for det engelske begrepet "sustainability". De har et felles mål om å opprettholde kvaliteter over tid, både økonomiske, miljømessige og sosiale. Dette er spesielt viktig i bygningssektoren, ettersom bygninger representerer store verdier over lang tid. Ved en alternativsvurdering for oppgraderingsprosjektet i et bærekraftig perspektiv blir det mest naturlig å snakke om levedyktighet, fremfor bærekraft. Dette er fordi begrepet levedyktighet i større grad reflekterer oppgraderingen som et prosjekt. Per definisjon kan et prosjekt sies å være levedyktig dersom det etter ferdigstilling, samt ut levetiden, realiserer prosjektmålene. Dette innebærer blant annet at summen av positive og negative konsekvenser på kort og lang sikt ansees for å være positiv (Haavaldsen, 2011). En slik vurdering vil danne et bedre grunnlag for å velge de beste prosjektene, og sikre best mulig ressursutnyttelse.

På bakgrunn av dette må resultatene i oppgaven settes i et bærekraftig perspektiv, der et bredere spekter av konsekvenser for miljø, økonomi, og samfunn vurderes. Likevel er det økonomi og miljø som er spesielt i fokus i denne oppgaven, og det er dermed disse som drøftes i det følgende. Det er i oppgaven valgt å betrakte kun de første 25 årene etter oppgraderingen, tilsvarende den antatte brukstiden. Dette tidsperspektivet bør være et minimum for analyseperiode, ettersom målet er å se på virkningene over en lengre tidsperiode. På bakgrunn av dette sees det også på konsekvenser utover den valgte analyseperioden.

7.2.1 Økonomi

Økonomisk lønnsomhet er ofte et sentralt prosjektkriterium, og høye investeringskostnader en stor barriere for gjennomføring. Dette skyldes at kostnadene på starten av prosjektet erfaringsvis vektlegges mer enn kostnader i driftstiden. Spesielt blir dette en faktor ved ambisiøse energioppgraderinger med store prosjektkostnader. Sees kostnadene over en lengre tidsperiode vil derimot besparelser knyttet til energiutgifter ofte veie opp for de høye investeringskostnadene. Dette kommer blant annet frem i oppgavens LCC-beregninger, der konsept 1 har lavere totale kostnader enn standard oppgradering over en tidsperiode på 25 år. De fleste oppgraderingsprosjekter lånefinansieres, og avskrives over tid. Dermed er det ikke prosjektkostnaden, men nåverdien av den totale analyseperiodekostnaden som er av betydning.

Beregningene viser at plussuskonseptene har hovedvekten av kostnadene i starten av analyseperioden, i motsetning til standard oppgradering der kostnadene i større grad oppstår som årlige kostnader. Usikkerhet rundt tilgjengelighet, pris og krav knyttet til energiforsyning frem i tid utgjør betydelig kostnadsrisiko. Dermed vil det i et økonomisk perspektiv være tryggere å velge et oppgraderingsprosjekt med en fortung kostnadsprofil. Lavere energibehov og større grad av

selvforsyning av energi vil redusere fremtidig risiko for de to plussuskonseptene sett i forhold til standard oppgradering.

Anskaffelse av materialer er kostbart. Det er derfor et poeng å begrense omfanget av utskiftninger ved en oppgradering. På en annen side vil utskiftninger redusere behovet for fremtidige utskiftninger, og kan gi lavere vedlikeholdsbehov. Et redusert utskiftingsbehov vil også potensielt øke brukstiden for oppgraderingsprosjektet. Til tross for at utskiftninger er kostbart, kan det ofte lønne seg å gjøre dette i forbindelse med en oppgradering. Dette skyldes at det på dette tidspunktet ligger mer til rette for å komme til de aktuelle komponentene uten å måtte ødelegge omliggende komponenter. Generelt vil utskiftninger lønne seg i et lengre perspektiv, mens i et kortere perspektiv ikke vil besparelsene synliggjøres i forhold til å beholde det eksisterende.

Valg av komponenter og materialer kan være av betydning for de totale kostnadene, utover selve anskaffelseskostnaden. Det er i oppgaven sett bort i fra virkning av eventuelle forskjeller på standarden til de ulike komponentene. Dette er en forenkling av virkeligheten. Felles for bygningsmessige komponenter med høy kvalitet er at de har mindre behov for løpende vedlikehold, og har gjerne lengre levetider. Dette gjelder for eksempel, aluminiumsvinduer som er forbundet med lite vedlikeholdsbehov og vil ha lavere vedlikeholdskostnader enn trevinduene som er benyttet ved standard oppgradering. Det er derfor viktig å se utover kun investeringskostnaden ved valg av bygningskomponenter i byggeprosjekter.

Lønnsomheten til et oppgraderingsprosjekt vil også til dels avhenge av kvaliteter ved den eksisterende bygningen og mulighetene til å foreta inngrep. Det aktuelle casebygget har flere kvaliteter som utgjør gode forutsetninger for å kunne gjennomføre en lønnsom oppgradering. Etterisolering er generelt et lønnsomt energiltak, og det er her få restriksjoner rundt å etterisolere denne. I tillegg er det rom for tekniske føringer og komponenter, ettersom det i hovedsak er snakk om å skifte ut det tekniske anlegget som finnes i bygget fra før.

Oppgradering til plusshus innebærer betydelig høyere prosjektkostnader enn en standard oppgradering i henhold til TEK. Det kan derfor stilles spørsmål om det er mulig å gjennomføre plusshus-oppgradering til kommersielle priser. Beregningene resulterte i små differanse mellom de totale kostnadene til de tre konseptene over analyseperioden. Dette indikerer at dersom det tas hensyn til kostnader utover kun investeringskostnader ligger ikke plusshus-oppgradering på et høyere kostnadsnivå enn standard oppgradering. I tillegg ansees plusshus som viktige forbyggebygg, og det ligger prestisje i både gjennomføring og bruk av denne typen bygg. Det settes også stadig mer pris på bygg som er miljøvennlige og kostnadseffektive gjennom hele levetiden. Dermed oppstår det en økt villighet til å betale mer for å både utvikle og bruk av bygget.

Ved beregning av kostnader for riveprosessen er det lagt inn kostnader knyttet til rivearbeidene, samt deponering av byggeavfallet. I oppgaven er det benyttet en rund sum for rigg og drift som inkluderer deponikostnader. I virkeligheten er det store muligheter for å påvirke disse kostnadene. Blant annet er det store besparelser i å sortere avfallet, siden deponering av blandet avfall er langt dyrere enn deponering av separate avfallsfraksjoner. Gjenbruk av komponenter vil også være et

ressursbesparende tiltak, men omfanget av gjenbruk begrenses av krav til kvalitet og komponentenes tilstand.

Per i dag er ikke markedet for plusshus stort i Norge. Derfor er det lite tilgjengelige bygningskomponenter og tekniske anlegg tilpasset dette formålet, og det som er tilgjengelig er priset høyt. Samtidig er det økende interesse for dette området i byggebransjen, og det forskes stadig på nye teknologier. På basis av dette forventes markedet for plusshus å øke med tiden. Dette vil føre til en modningsprosess i byggebransjen, som etterhvert vil føre til at det bygges rimeligere plusshus, og rimeligere løsninger vil bli tilgjengelige.

7.2.2 Miljø

En av hovedmotivasjonene bak politiske målsetninger om redusert energibruk i bygningssektoren er reduksjonene i klimagassutslipp som dette medfører. Økt omlegging til miljøvennlige energikilder vil også bidra til ytterligere utslippsreduksjoner. Dersom bygningsprosjekter sees i et fremoverrettet perspektiv vil det tydelig være sentralt å fokusere på å redusere klimagassutslipp fra bygninger. Myndighetene har et uttalt mål om å innføre passivhusstandard fra 2020, og dette innebærer at det vil stilles mer konkrete krav til maksimale årlige utslipp enn i tidligere byggeforskrifter. Ved en slik utvikling vil de to plusshuskonseptene stille sterkere enn standard oppgradering, som har et årlig utslippsnivå langt over kravet til CO₂-utslipp i passivhusstandard.

I likhet med økonomi har materialbruk mye å si for miljøet. Fremstilling av bygningsmaterialer genererer store klimagassutslipp. Størrelsen av utslippene i hvert tilfelle avhenger av produksjonsmetode, og som kjent vil bruk av resirkulerte materialer fremfor jomfrumaterialer ofte gi miljøgevinster. Bruken av resirkulert aluminium gir store reduksjoner av klimagassutslipp, ettersom fremstillingen kun krever 5 % av energien som går med til å framstille ny aluminium (Tønset, 2011). Ved gjenvinning blir det en opphopning av både legeringsmateriale og sporstoffer som påvirker kvaliteten på sluttproduktet og dermed begrenser bruksområdet. Det jobbes stadig med nye metoder og tiltak for å forbedre kvaliteten på gjenvunnet aluminium, slik at brukspotensialet trolig vil øke med årene som kommer. For oppgraderingskonseptene som er vurdert i denne oppgaven vil bruk av resirkulert aluminium potensielt gi store utslippsreduksjoner ettersom de alle innebærer større mengder aluminium. Gevinsten vil antakelig være større for de to plusshuskonseptene, siden de i motsetning til standard oppgradering benytter aluminiumsvinduer. Selv om omfanget av materialbruk gjerne er mindre ved oppgraderingsprosjekter i forhold til nybygg, vil likevel utslipp fra materialbruk være av betydning for de totale utslippene.

Som for økonomi kan det å ta vare på store deler av det eksisterende bygget bidra til å minimere den totale påvirkningen fra materialbruk. Dette inkluderer også ombruk av materialer fra bygget. Redusert grad av utskifting og økt ombruk vil i tillegg redusere utslipp som oppstår i riveprosessen. Samtidig viste beregningene at riveprosessen har neglisjerbare utslipp i alle de tre konseptene. Dette skyldes hovedsakelig antagelsen om at store deler av byggeavfallet gjenvinnes og produserer dermed ingen utslipp i forbindelse med oppgraderingen.

I denne oppgaven er det kun sett på miljøbelastning i form av klimagassutslipp. Dette er som kjent kun én av mange miljøbelastninger. Ved å kun se på én miljøbelastning oppstår det en fare for at

problemene bare forflyttes. For eksempel kan tiltak for å redusere klimagassutslippene generere påvirkninger innen andre kategorier. Blant annet installeres det flere tekniske installasjoner med sikte på å redusere utslipp fra energibruk. Det som ikke tas høyde for i denne forbindelse er at fremstilling av slike produkter kan føre til utslipp av partikler og andre stoffer som kan være skadelig for både miljø og helse. Et annet eksempel er energigjenvinning av trevirke fra riveprosessen som i utgangspunktet bedrer miljøprestasjonen ved at det reduserer klimagassutslipp. Det er da ikke tatt hensyn til at forbrenning av trevirke kan føre til forsurening og overgjødning.

Noen aspekter ved oppgraderingen peker seg ut ved at de medfører konsekvenser både for økonomi og miljø. Dette gjelder i hovedsak energibruk, materialbruk og avhendingsfasen. Både energibruk og materialbruk har som nevnt stor innvirkning på LCC- og LCC-beregningene. Disse forholdene er generelt anerkjent som viktige ved livssyklusbetraktninger. Avhendingsfasen derimot er fortsatt den fasen som er minst innarbeidet i livssyklusberegninger.

7.2.3 Er det på bakgrunn av dette levedyktig å oppgradere til plusshus?

Målet med oppgraderingen kan sies å være å oppnå et bygg som tilfredsstillende tekniske og funksjonelle krav over tid. Kravet for levedyktighet blir med dette å møte fremtidige krav, samtidig som konsekvensene for økonomi og miljø minimeres.

Plusshuskonseptene som er skissert i oppgaven er basert på passivhusstandarden. Denne forventes å innføres som forskriftskrav i løpet av analyseperioden. Det er kun konsept 2 som tilfredsstillende alle passivhuskravene, men kun små forskjeller skiller konsept 1 fra å tilfredsstillende disse (Overøye, 2012). I tillegg vil konsept 1 og 2 i større grad møte brukerkrav om mer miljøvennlige og driftsøkonomiske bygg.

Konsept 1 har den laveste analyseperiodekostnaden, og når nesten til topps i klimagassberegningene. Sett i forhold til null-alternativet standard oppgradering kommer konsept 1 bedre ut med tanke på konsekvenser for både økonomi og miljø, med lavere analysekostnader og klimagassutslipp. Gjennomføring av plusshuskonsept 2 medfører mindre miljømessige konsekvenser enn konsept 1. Samtidig har dette konseptet en høyere analyseperiodekostnad og dermed større økonomiske konsekvenser. Økt grad av utskifting i forbindelse med dette konseptet kan potensielt øke levetiden til oppgraderingsprosjektet. Sett i et lengre perspektiv vil også levedyktigheten til dette konseptet med stor sannsynlighet styrkes ved at utslipps- og energibesparelsene i økt grad veier opp for den høye prosjektkostnaden.

Standard oppgradering kommer dårligst ut totalt sett. Dette konseptet fremstår som et mindre langsiktig robust konsept, både i forhold til krav fra myndigheter og brukere. Standard oppgradering har også betydelig større klimagassutslipp enn begge plusshuskonseptene, primært grunnet utslipp fra energibruk i drift. I tillegg er det et kostbart alternativ, til tross for lavere prosjektkostnad, på grunn av de høye energikostnadene. Fordelingen av kostnader over analyseperioden innebærer også at standard oppgradering er forbundet med større kostnadsusikkerhet.

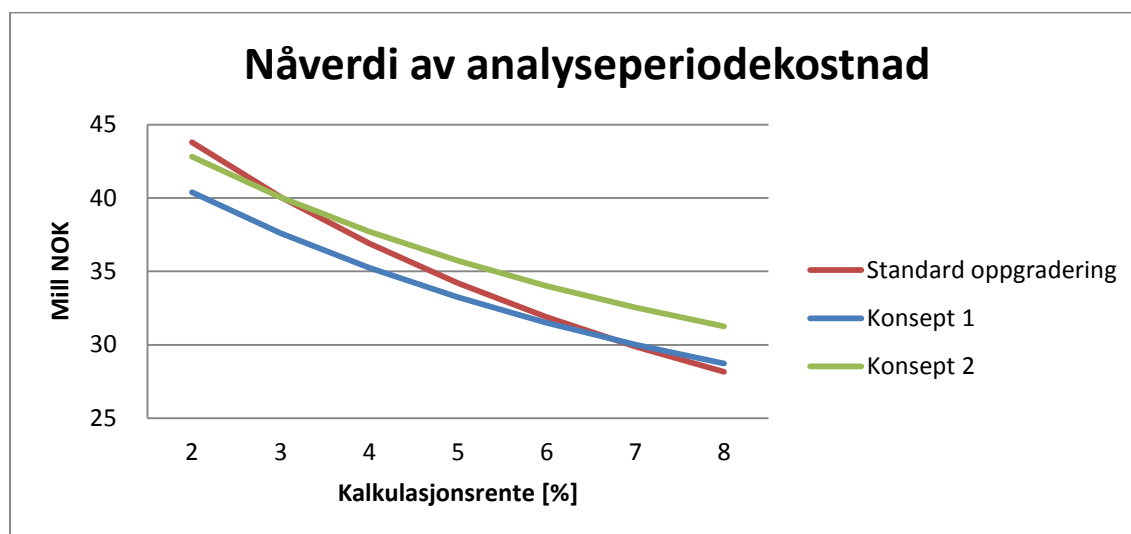
På bakgrunn av dette kan plussuskonseptene i denne sammenheng vurderes som levedyktige alternativer sett i forhold til standard oppgradering til tross for de nevnte feilkildene. I tiden fremover vil samtidig levedyktigheten til plusshus øke i takt med modningen av byggemarkedet. Ved at markedet for plusshus øker og det opparbeides erfaring vil det kunne være mulig å gjennomføre plusshus-oppgradering til lavere priser, og med mindre utslipp enn per i dag.

7.3 Sensitivitetsanalyser

Det er store usikkerheter i flere av de valgte inputparameterne. Dermed er det nyttig å foreta sensitivitetsanalyser for å kunne si noe om hva som skjer dersom disse ikke blir som antatt. Sensitiviteten i beregningene prøves ut ved å variere en og en parameter og se på hvordan dette slår ut på resultatene. I virkeligheten vil flere parametere kunne endre seg samtidig og virke inn på hverandre.

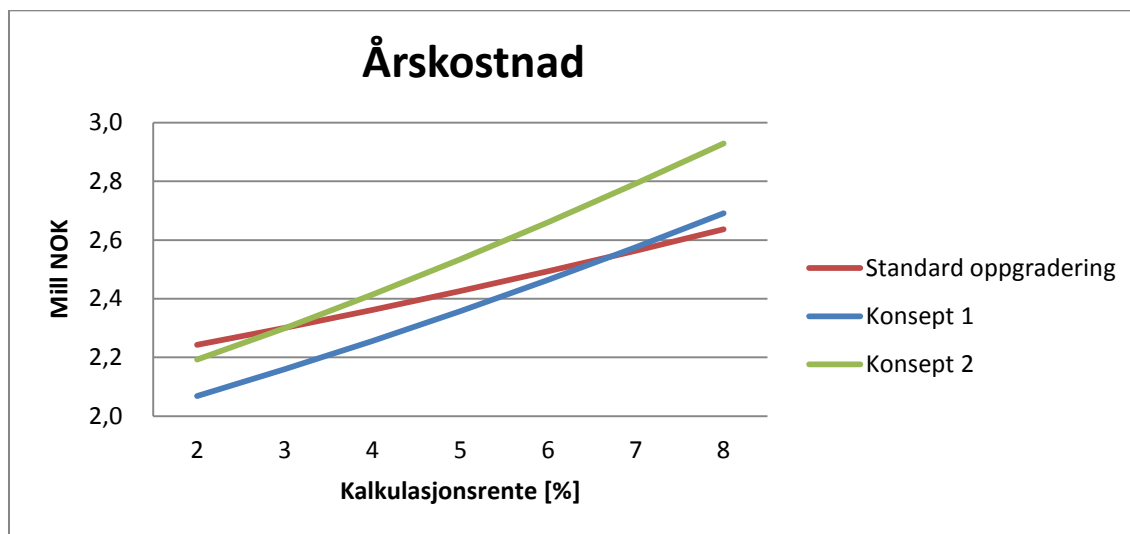
7.3.1 Kalkulasjonsrente

Det benyttes ofte en høyere kalkulasjonsrente i privatøkonomiske beregninger enn det som er benyttet i oppgaven. På bakgrunn av dette undersøkes hva som skjer dersom kalkulasjonsrenten øker fra 2 % til 8 %. Figur 31 viser hvordan analyseperiodekostnaden endrer seg med økning av kalkulasjonsrenten.



Figur 31 – Nåverdi av analyseperiodekostnaden ved ulike kalkulasjonsrenter

Generelt reduseres nåverdien av analyseperiodekostnaden når kalkulasjonsrenten øker. Årsaken til dette er at verdien av fremtidige kostnader reduseres. Dette bildet blir noe annerledes ved å betrakte årskostnadene. Da vil økt kalkulasjonsrente gi høyere kostnader (Figur 32).



Figur 32 – Årskostnad ved ulike kalkulasjonsrenter

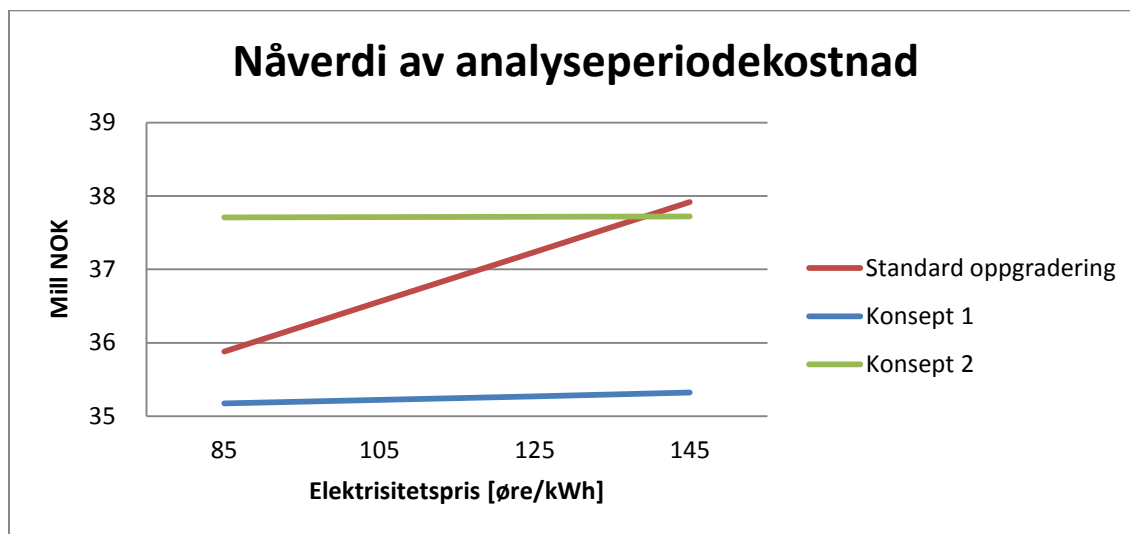
Grunnen til dette er at annuitetsfaktoren øker med økende rente, og denne økningen er større enn reduksjonen i nåverdi.

Både en kalkulasjonsrente som er lavere og høyere enn den som er benyttet i oppgaven (4 %) gir en endring i rangeringen mellom de tre konseptene. Standard oppgradering har i oppgaven et kostnadsnivå som ligger mellom de to øvrige konseptene. Ved lavere kalkulasjonsrente får dette konseptet det høyeste kostnadsnivået, mens den kommer best ut av de tre dersom kalkulasjonsrenten økes utover 6 %. Grunnen til at rangeringen av konseptene endrer seg med rentenivå er at kostnadene fordeler seg ulikt over livsløpet. Konsepter der hovedvekten av kostnadene faller i starten av analyseperioden favoriseres i en nåverdiberegning fremfor de med hovedvekten senere i livsløpet.

Konklusjonen er med dette at en økning i kalkulasjonsrente vil øke lønnsomheten til standard oppgradering sett i forhold til de to plussuskonseptene. Likevel vil konsept 1 forbli det mest lønnsomme alternativet opp til en relativt høy kalkulasjonsrente.

7.3.2 Elektrisitetspris

Det er vanskelig med sikkerhet å forutsi hva de fremtidige elektrisitetsprisene vil ligge på. Derfor gjøres det en analyse av hvordan analyseperiodekostnaden endrer seg med ulike elektrisitetspriser. Det sees på en variasjon av elektrisitetsprisen på omtrentlig -25 % til +25 % i forhold til den antatte prisen (Figur 33).



Figur 33 – Nåverdi av analyseperiodekostnaden ved ulike elektrisitetspriser

Elektrisitetsprisen vil kun påvirke kostnadene knyttet til energibruk (driftskostnader) i LCC-beregningene. I dette tilfellet vil årskostnaden i likhet med nåverdien øke med økende elektrisitetspriser, ettersom årskostnaden kun er annuitet av nåverdien.

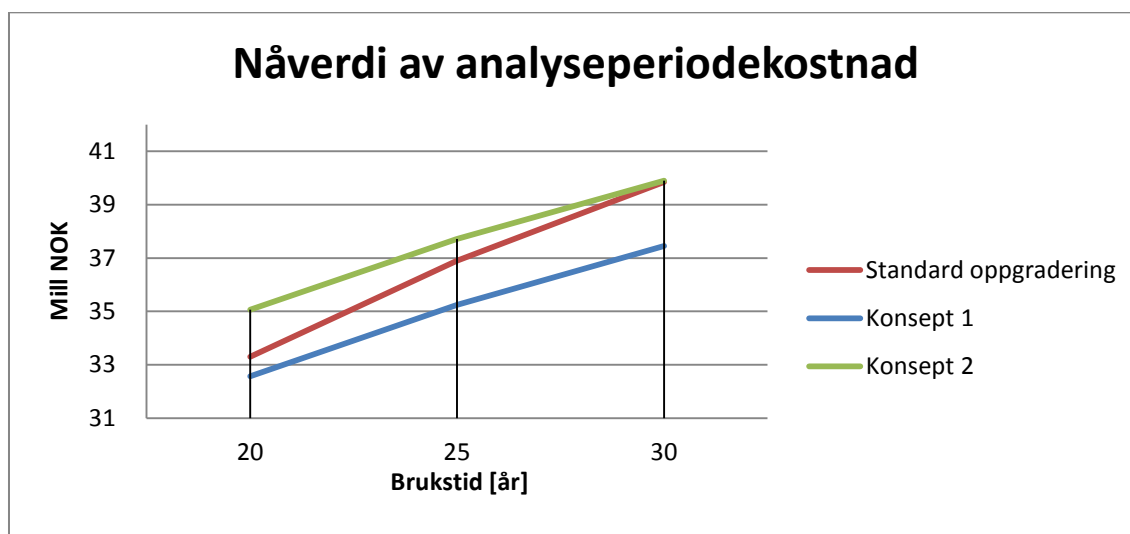
Som forventet vil en økning i elektrisitetspris påvirke konseptene ulikt avhengig av hvor mye elektrisitet som kjøpes fra elektrisitetsnettet. Plusshuskonseptene er nærmest selvforsynt med elektrisitet fra solcellepanel, og har kun behov for å kjøpe mindre mengder elektrisitet. Følgelig endrer ikke analyseperiodekostnaden seg av betydning for disse konseptene. Det er en helt annen situasjon ved standard oppgradering. Her vil en prisøkning fra 85 til 145 øre/kWh gi en betydelig økning i analyseperiodekostnaden (5,7 %). Med den høyeste elektrisitetsprisen betraktet her vil standard oppgradering få en analyseperiodekostnad som er høyere enn for begge plusshuskonseptene.

Av dette kan det sluttet at økte elektrisitetspriser vil føre til at standard oppgradering relativt sett blir mindre lønnsom enn de to øvrige konseptene. Samtidig vil rangeringen mellom de tre forbli uendret inntil forholdsvis høy elektrisitetspris på i underkant av 140 øre/kWh.

7.3.3 Analyseperiode

I denne oppgaven er det benyttet en analyseperiode som tilsvarer en brukstid på 25 år. Det er tydelig at valg av tidsperspektiv er av betydning for LCC-resultatene på grunn av ulik fordeling av kostnader over livsløpet. Det forsøkes her å se på hva som skjer med disse resultatene dersom det benyttes en analyseperiode på +/- 5 år. Samtlige kostnadsposter antas å være gjeldende innenfor dette intervallet. Det er ikke lagt til ytterligere tillegg til referanseverdien for vedlikeholdskostnader ettersom det antas at solceller ikke må byttes ut før etter 30 år. Videre antas restverdien til bygget å forbli uendret, men å oppstå på ulike tidspunkt.

Virkingen av endret brukstid, og dermed analyseperiode, er vist i Figur 34.



Figur 34 – Nåverdi av analyseperiodekostnaden ved ulike brukstider

Det som fremgår av analysen er at rangeringen mellom de tre konseptene forblir uendret innenfor det betraktete intervallet. Samtidig øker lønnsomheten til standard oppgradering i forhold til plusshuskonseptene når lengden på analyseperioden avtar. Årsaken til dette er at energibesparelsene ved å oppgradere til plusshus totalt sett blir mindre, mens prosjektkostnaden forblir uendret. Generelt vil en lengre analyseperiode gjøre at miljøvennlige konsepter med redusert energibruk og miljøvennlige energikilder kommer bedre ut. Dette skyldes at besparelsene av både energikostnader og utslipp gjennom driftsfasen akkumuleres og øker over tid. På denne måten øker fortjenesten per investerte krone.

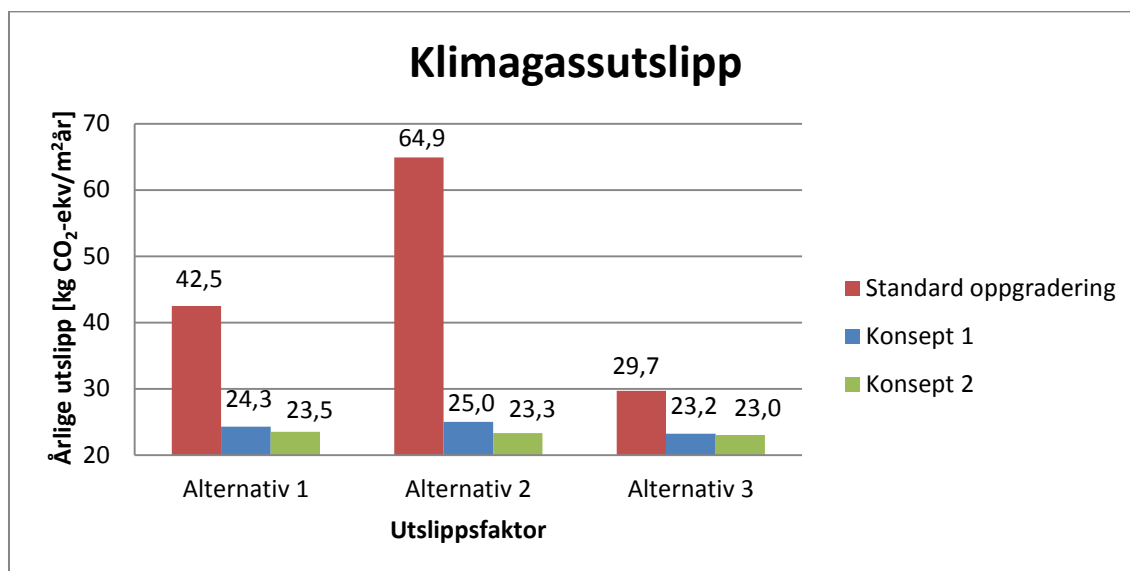
7.3.4 Utslippsfaktor elektrisitet

Det er store diskusjoner rundt utslippsfaktor for elektrisitetsbruk, og det ikke enighet om hvilken faktor som er riktig å benytte i LCA-beregninger. I KRG er det tre alternative utslippsfaktorer å velge mellom (Tabell 17):

Tabell 17 – Alternative utslippsfaktorer for elektrisitet i KGR

Alternativ	Beskrivelse	Gjennomsnittlig utslippsfaktor	
1	2-graders-målet (benyttet i oppgaven)	Utslippsfaktor lik snittverdi ved lineær reduksjon til null utslipp i år 2054 (benyttet i oppgaven)	0,112 kg CO ₂ -ekv/kWh
2	EU-referanse	Utslippsfaktor lik snittverdi ved lineær reduksjon til null utslipp i år 2100	0,251 kg CO ₂ -ekv/kWh
3	"0-nivå"	Kun direkte utslipp for alle moduler utenom materialmodul der det benyttes EU-referanse. Ved direkte utslipp benyttes en utslippsfaktor for norsk elektrisitetsproduksjon ved vannkraft (null utslipp).	0 kg CO ₂ -ekv/kWh

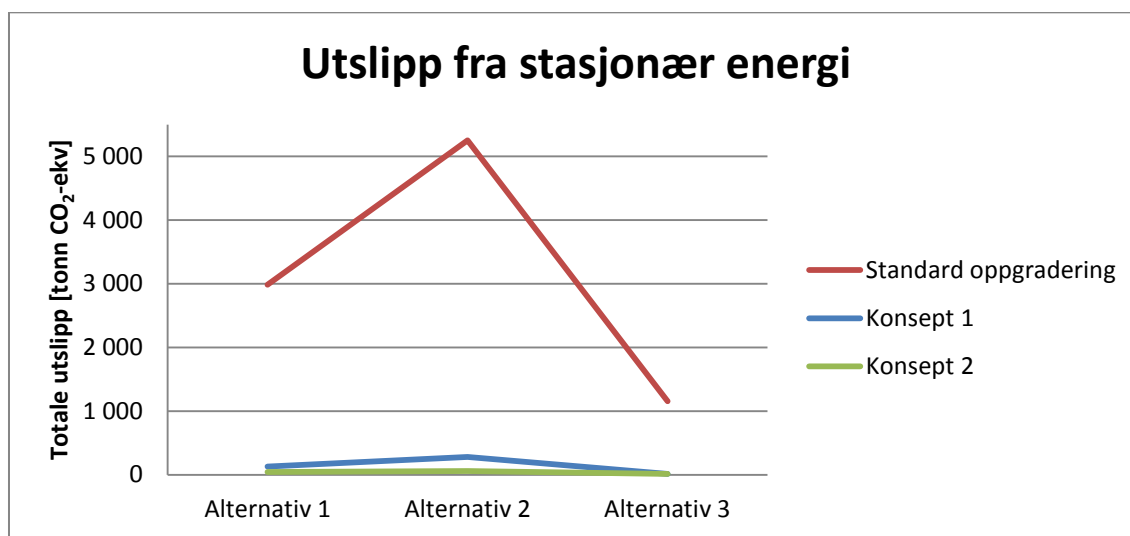
Figur 35 viser virkningen valg av utslippsfaktor i KRG har for det det årlige utslippet fra de ulike konseptene.



Figur 35 – Totale klimagassutslipp ved alternative utslippsfaktorer for elektrisitet

Analysen viser at utslipp fra transport og riveprosessen forblir uendret. Utslipp fra materialer påvirkes heller ikke merkbart ved å gå fra 2-graders-målet til EU-referanse. Ved å endre utslippsfaktoren til EU-referanse økes utslippene fra alle konseptene, og dette medfører at konsept 1 ikke lenger tilfredsstiller passivhuskravet om maksimalt CO₂-utslipp. Standard oppgradering tilfredsstiller ikke dette kravet selv når elektrisitet tilskrives en utslippsfaktor lik null.

Grafen viser at standard oppgradering påvirkes langt mer enn plusshuskonseptene når utslippsfaktoren for elektrisitet endres. Årsaken til dette er at standard oppgradering har størst forbruk av elektrisitet fra nettet. Virkningen på utslipp fra stasjonær energi av å endre utslippsfaktor er ytterligere illustrert i Figur 36.



Figur 36 – Totale klimagassutslipp fra stasjonær energi i drift ved alternative utslippsfaktorer for elektrisitet

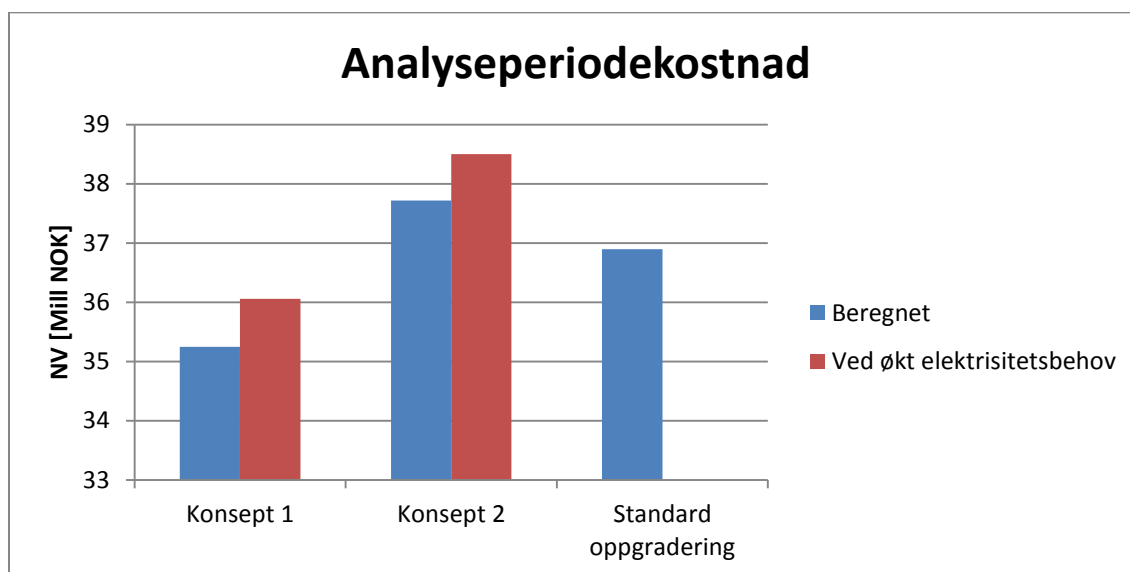
Ved å endre utslippsfaktoren fra 2-graders-målet til EU-referanse økes utslippene knyttet til stasjonær energi betraktelig for både standard oppgradering og konsept 1, med henholdsvis 68,5 % og 101 %. Konsept 2 har en langt mindre økning ettersom dette konseptet har minimalt forbruk av elektrisitet fra nettet. Dersom elektrisitet tilegnes en utslippsfaktor lik null, som ved alternativ 3, fører dette til en vesentlig reduksjon av utslipp. Likevel faller ikke utslippene helt bort, siden det også benyttes ny fjernkjøling og fjernvarme med utslipp uavhengig av elektrisitet.

7.3.5 Elektrisitetsbehov

Det er gjerne slik at beregninger er mer optimistiske enn virkeligheten. I tilfellet for plussuskonsepter er det gjort tiltak som har ført til store reduksjoner i behovet for elektrisk energi. Det er derfor av interesse å se på hva som skjer med resultatene dersom det viser deg at elektrisitetsbehovet blir større enn beregnet. Det velges her å holde elektrisitetsbruken for standard oppgradering konstant ettersom dette konseptet har et beregnet høy elektrisitetsbruk, og det er mindre sannsynlighet for økt elektrisitetsbehov for dette konseptet.

Det undersøkes hva som skjer dersom plussuskonseptene får en økning på 50 % i behov for direkte elektrisk energi. Dette innebærer en økning i behov for kjøpt energi på 45 205 kWh/år for konsept 1 og 45 149 kWh/år for konsept 2. Tillegget dekkes ikke av solcelleproduksjonen og må kjøpes fra elektrisitetsnettet.

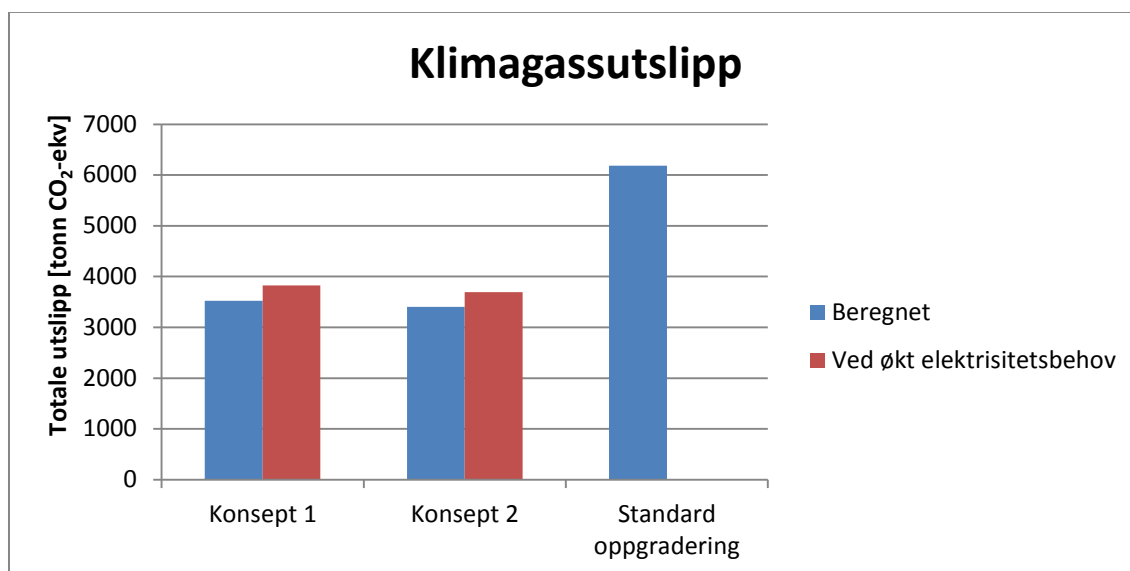
Figur 37 viser endringen i analyseperiodekostnaden ved en økning i kjøpt elektrisitet for de to plussuskonseptene



Figur 37 – Analyseperiodekostnad ved økt elektrisitetsbehov for plusshuskonseptene

Selv ved å øke elektrisitetsbruken for kun plusshuskonseptene forblir rangeringen av konseptene lik. Begge plusshuskonseptene får en økning på 2 % i de totale kostnadene. Denne økningen skyldes utelukkende økte energiutgifter, disse øker med henholdsvis 100 % og 162 % for konsept 1 og 2.

Økt behov for kjøpt elektrisitet vil også medføre økning i utslipp fra stasjonær energi i drift, og dermed det totale utslippet for de to plusshuskonseptene som vist i Figur 38.



Figur 38 – Totale klimagassutslipp ved økt elektrisitetsbehov for plusshuskonseptene

Både konsept 1 og 2 får en økning i totalt utslipp på 9 %, og betraktelig økninger i utslipp fra stasjonær energi i drift. For konsept 1 er denne økningen på 235 %, mens den er på hele 664 % for konsept 2. Dette synliggjør hvor mye behovet for kjøpt elektrisitet har å si for klimautslippene. Til

tross for at det bare er plussuskonseptene som får en økning i elektrisitetsbehov forblir LCA-rangeringen uendret.

Ut i fra de gjennomførte sensitivitetsanalysene kan det konkluderes med at beregningsresultatene er robuste. Rangeringen mellom konseptene forblir uendret innenfor store variasjonsintervaller for sentrale input-parametere. Dette vil styrke grunnlaget for, og sikkerheten til konklusjonene som trekkes i oppgaven. Det skal likevel merkes at sensitivitetsanalysene ikke avdekker eventuelle korrelasjoner mellom parameterne. Ved at input-parameterne virker sammen kan det oppstå forsterkede effekter, og større utslag på resultatene enn det som er vist her. Sammenhenger mellom input-parameterne kan ha både dempende og forsterkende effekt på resultatene.

8 Konklusjon

For å sikre levedyktig oppgradering må fremtidige krav møtes, samtidig som det strebes etter å minimere de miljømessige og økonomiske konsekvensene som oppstår. På bakgrunn av LCC- og LCA-beregningene kan det konkluderes med at en oppgradering etter konsept 1 vil gi de laveste konsekvensene for både miljø og økonomi sett over analyseperioden på 25 år. Denne konklusjonen vil trolig styrkes dersom analyseperioden forlenges. En økt betraktningsperiode vil også øke levedyktigheten til konsept 2. Dette skyldes at økte energibesparelser i økt grad kompenseres for en høyere prosjektkostnad, samtidig som den totale miljøbesparelsen ved å oppgradere til plusshus øker. Både plusshuskonsept 1 og 2 vurderes på bakgrunn av oppgavens resultater som mer levedyktige alternativ enn standard oppgradering. Dette begrunnes også i at disse konseptene har en større sannsynlighet for å møte både forskriftskrav til byggverk og brukerkrav gjennom hele den betraktede perioden, samtidig som de forbindes med mindre fremtidig kostnadmessig risiko.

8.1 Anbefalinger

I oppgaven er det kun gjort vurderinger rundt miljø og økonomi, men for å sikre en oppgradering i tråd med bærekraft prinsippet må det også fokuseres på inneklima ved ytterligere prosjektering og gjennomføring av oppgraderingen. Sosial bærekraft sikres blant annet ved å sørge for godt inneklima og gode arbeidsforhold.

Material- og energibruk fremkommer av beregningene som elementene med størst påvirkning på både kostnader og klimagassutslipp. Følgelig er dette områder som bør fokuseres på ved en oppgradering.

Det er flere måter å redusere nødvendige materialmengder ved den planlagte oppgraderingen, og dermed de økonomiske og miljømessige konsekvensene av oppgraderingen. Ved å unngå bindinger mellom komponentene ved prosjekteringen øker mulighetene for en effektiv ombygging på et senere tidspunkt. Det bør også velges komponenter med lang levetid ved en oppgradering siden dette reduserer det totale behovet for utskiftningen i løpet av levetiden. I tillegg må komponentene vedlikeholdes slik av de oppnår sin tilsiktede levetid. Også fokus på konsepter og materialer som bidrar til økt gjenvinning, gjenbruk og ombruk vil i denne sammenheng bidra til økonomiske og miljømessige ressursbesparelser. Disse grepene vil utover å redusere ressursene som går med til materialer, også redusere kostnader og miljøpåvirkninger som følge av generert avfall.

Ved oppgradering av casebygget er det forutsatt at flere sentrale bygningskomponenter som nærmer seg endt levetid beholdes. Dette gjelder blant annet kjølebafler, radiatorer, ventilasjonskanaler og vannrør i sentralvarmeanlegget. Det bør gjøres en teknisk vurdering av disse komponentene for å bestemme om disse komponentene vil holde fram til neste forventede oppgradering, eventuelt om det vil lønne seg å skifte ut disse komponentene i forbindelse med dette oppgraderingsprosjektet.

9 Videre arbeid

I oppgaven er det kun gjort overordnede vurderinger av økonomi og klimagassutslipp. Det vil derfor være behov for mer detaljerte beregninger for det konseptet for oppgradering som velges å gjennomføre. Det er også nødvendig med vurdering av konsekvensene for samfunn for å sikre sosial, så vel som økonomisk og miljømessig levedyktighet. I tillegg vil det være av interesse å se på et bredere spekter av miljøpåvirkninger i en LCA-analyse.

Som videre arbeid kan det være aktuelt å foreta tilsvarende beregninger på flere casebygg for å se om konklusjonen holder også for bygg med andre utfordringer enn det betraktede casebygget. For eksempel vil byggspesifikke forhold som beliggenhet, tilpasningsdyktighet og teknisk tilstand potensielt ha mye å si for om det er mulig å gjennomføre plusshus-oppgradering på en levedyktig måte.

Gjennom arbeidet med oppgaven er det synliggjort en stor mangel på grunnlagsdata for både LCC- og LCA-beregninger. LCC-nøkkeltall for kostnadspostene utover prosjektkostnader er lite tilgjengelig. Det er også stor usikkerheter knyttet til hva nøkkeltallene er basert på, og dermed hva som inkluderes i disse. På bakgrunn av dette bør det arbeides videre med å samle inn nøkkeltall, og etablere omforent definisjon av hva som inngår i disse nøkkeltallene. I tillegg bør dette gjøres tilgjengelig for flere aktører. Usikre levetidsdata medfører usikkerheter i vedlikeholdskostnadene som inngår i LCC-beregningene. For å styrke bruken av LCC-beregninger som del av levetidsvurderinger er det derfor også nødvendig å skaffe mer pålitelig levetidsdata for bygningskomponenter og tekniske anlegg.

Det er mangel på LCA-nøkkeltall på flere områder, både generelt og i KGR modellen. Det er per i dag fortsatt uenighet og store usikkerheter rundt CO₂-faktorer for ulike energikilder. Til tross for at det er gjort mye arbeid på området den siste tiden er det likevel et behov for videre forskning. KGR har gjennom nye versjoner av modellen inkludert stadig flere elementer ved bygningers livsløp. Samtidig er det fortsatt behov for forbedringer. Noen sentrale mangler i KGR fremgår i oppgaven: referanseverdier for anleggsmodulen, materialdata for tekniske anlegg, samt mulighet for å inkludere riveprosessen i beregningen. Samlet sett belyser dette et stort behov for videre innsamling av data og kartlegging rundt miljøprestasjonene til ulike produkter og prosesser. Blant annet bør det jobbes med å utarbeide egne EPDer for tekniske anlegg, i tillegg til å utvide omfanget av disse for øvrige materialer og bygningskomponenter.

10 Litteraturliste

Alectia, 2012. *Certification and screening of sustainable buildings: BREEAM, LEED and DGNB.*

[Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.alectia.com/eng/news/certification-and-screening-of-sustainable-buildings-breeam-leed/>

[Funnet 23.4. 2012].

Andresen, I. et al., 2010. *Prosjektrapport 59 - Miljøvennlig varmforsyning til lavenergi- og passivhus*, Oslo: SINTEF Byggforsk.

Arge, K. & Landstad, K., 2002. *Generalitet, fleksibilitet og elastisitet i bygninger - Prinsipper og egenskaper som gir tilpasningsdyktighet i bygninger*, Oslo: Byggforsk, Norges byggforskningsinstitutt.

Arnesen, C., 2012. *Budsjettpriser for installasjon av sjøvann-varmepumpe på mail fra ABK Klima AS* (29. 5. 2012).

Austeng, K. & Hugsted, R., 1995. *Trinnvis kalkulasjon*. Trondheim: Institutt for bygg- og anleggsteknikk, NTH.

Bernhard , P. & Jørgensen, P. F., 2007. *Byggsektorens klimagassutslipp*, Oslo: Byggemiljø.

Bjørberg, S. & Larsen, A., 2009. *Livsløpsplanlegging og tilpasningsdyktighet i bygninger - Innføring og prinsipper*, Oslo: Multiconsult.

Bjørberg, S., Larsen, A. & Øiseth, H., 2007. *Livssyklus kostnader for bygninger*, Oslo: RIF.

Bjørberg, S., Mørk, M. I., Sæbøe, O. E. & Weiseth, O., 2008. *Ord og uttrykk innen Eiendomsforvaltning - Fasilitetsstyring*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.nbef.no/fileadmin/Dokumenter/orduttrykkef.pdf>.

[Funnet 9. 15. 2011].

Bohne, R. A., Brattebø, H. & Bergsdal, H., 2008. Dynamic eco-efficiency projections for construction and demolition waste recycling strategies at the city level. *Journal of Industrial Ecology*, Volume 12, Issue 1, pp. 52-68.

Borchsenius, C. H., 2012. *"Powerhouse" - presentasjon holdt på orienteringsmøte om prosjektet*. Sandvika: Entra Eiendom AS.

Byggemiljø, 2010. *TidligLCC*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.byggemiljo.no/article.php?articleID=989&categoryID=6>

[Funnet 23. 2. 2012].

Byggforsk, 2000. *BKS 470.101 - Livsløpsvurdering av bygninger og bygningsmaterialer*, Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.

Byggforsk, 2002. *BKS 624.010 - Livssyklus kostnader for byggverk. Beregningseksempler*, Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.

Byggforsk, 2003. *BKS 471.012 Del I - U-verdier. Vegger over terreng*, Oslo: SINTEF Byggforsk.

Byggforsk, 2004. *BKS 700.307 - Definisjoner, etablering og bruk av levetidsdata for bygg og bygningsdeler*, Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.

Byggforsk, 2010. *BKS 470.103 - Miljødeklarasjon av byggevarer*, Oslo: SINTEF Byggforsk.

Byggforsk, 2011. *BSK 241.070 - Avfallshåndtering i byggesaker - Planlegging og dokumentasjon*, Oslo: SINTEF Byggforsk.

Byggutengrenser.no, 2012. *Kalkulator*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.byggutengrenser.no/fordeler/kalkulator>

[Funnet 23. 2. 2012].

Bøhn, T. I., 2008. *Energi & Miljøanalyse for Kjørbo - blokk 4 & 5 (Intern rapport)*, Oslo: Multiconsult AS.

Cherubini, F., 2011. *Forelesning i TEP 4223 - LCA of bioenergy and the climate neutrality question*. Trondheim: NTNU.

DGNB, 2012. *DGNB Certificate*. [Internett]

Tilgjengelig fra: http://www.dgnb.de/_en/certification-system/DGNB_Certificate/DGNB_Certificate.php

[Funnet 23.4. 2012].

Dokka, T. H., Klinski, M., Haase, M. & Hysen, M., 2009. *Prosjektrapport 42 - Kriterier for passivhus- og lavenergibygg - Yrkesbygg*, Oslo: SINEF Byggforsk.

Enova Næring, 2011. *Enovas byggstatistikk 2009*, Trondheim: Enova.

Enova SF, 2012. *Tilskuddsordningen for husholdninger*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://tilskudd2006.enova.no/>

[Funnet 14. 3. 2012].

EPD-Norge, 2012. *Om EPD-Norge*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.epd-norge.no/article.php?articleID=972&categoryID=362>

[Funnet 2. 3. 2012].

European Commission, 2011. *Energy price statistics*. [Internett]

Tilgjengelig fra:

http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Energy_price_statistics

[Funnet 6. 5. 2012].

Finansdepartementet, 2005. *Veileder i samfunnsøkonomiske analyser*, Oslo: Finansdepartementet.

Fokkehelseinstituttet, 2006. *Avfallsdeponier*. [Internett]

Tilgjengelig fra:

http://www.fhi.no/eway/default.aspx?pid=233&trg=MainArea_5661&MainArea_5661=5631:0:15,3169:1:0:0:::0:0

[Funnet 11. 6. 2012].

Gissiger, H. K., 2012. *Forelesning i TBA 4170 - LCC Tool and Methods*. Trondheim: NTNU .

Hafslund, 2012. *Personlig meddelse over telefon verdørerende nettleie og offentlig avgifter* (5. 4. 2012).

Heen, C., 2012. *Priser og energimiks fjernvarme og -kjøling, meddelt muntlig over telefon* (16. 5. 2012).

Holte AS, 2012a. *Kalkulasjonsnøkkelen*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.holte.no/kalkulasjonsnokkelen.aspx>

[Funnet 30. 3. 2012].

Holte AS, 2012b. *HoteProsjekt Anbud*, Oslo: Holte AS.

Holte AS, 2012c. *HolteProsjekt Budsjett*, Oslo: Holte AS.

Holte, E., 2010. *Kalkulasjonsnøkkelen*. 28. utgave utg. Darmmen: Holte Byggsafe.

Holthe, K. & Barlindhaug, R., 2004. *Prosjektrapport 374 - Status for livssyklus kostnader i tilknytning til boliger*, Oslo: Byggforsk.

Holthe, K. et al., 2011. *Metode for miljøvurdering (LCA) av bygninger - dagens praksis og anbefalinger*, Oslo: Sintef Byggforsk.

Incit AB, 2010. *REPAB Fakta Vedlikeholdskostnader2011*. 2. utgave. Mölndal, Sverige: Incit AB.

International Standard, 2011. *ISO 15686-1 - Buildings and construction assets - Service life planning - Part 1: General principles and framework*, Geneva, Switzerland: International Standard.

International Standard, 2008. *ISO 15392 - Sustainability in building construction - General principles*, Geneva, Switzerland: International Standard.

Iversen, P., 2012a. *Befaring Kjørbo*. Sandvika: Entra Eiendom AS.

Iversen, P., 2012b. *Personlig meddelelse over mail angående FDV-kostnader Kjørbo*. Sandvika: Driftsansvarlig i Entra Eiendom.

Junnila, S. & Horvath, A., 2003. Life-Cycle Environmental Effects of an Office Building. *Journal of Infrastructure Systems*, Volume 9, Issue 4.

Kampesæter, A., Bjørberg, S. & Listerud, C. A., 2009. *Levetider i praksis - prinsipper og bruksområder*. [Internett]
Tilgjengelig fra: [http://kobe.be.no/kobedokumenter/koberapporter/Levetider i praksis.pdf](http://kobe.be.no/kobedokumenter/koberapporter/Levetider_i_praksis.pdf)
[Funnet 10. 17. 2011].

Klima- og forurensningsdirektoratet, 2010. <http://www.klif.no>. [Internett]
Tilgjengelig fra: <http://www.klif.no/publikasjoner/2590/ta2590.pdf>
[Funnet 8. 2. 2012].

klimagassregnskap.no, 2012. *Velkommen til klimagassregnskap.no*. [Internett]
Tilgjengelig fra: <http://www.klimagassregnskap.no/versjon3/portal16/index.php/2-generelt/27-klimagassberegninger-for-bygg-karbonfotavtrykk-livslopsanalyser-carbon-footprint-lca>
[Funnet 2. 3. 2012].

LCC Forum, 2012. *Om LCC Forum*. [Internett]
Tilgjengelig fra: <http://www.lccforum.no/om-lcc-forum/>
[Funnet 20. 2. 2012].

Listerud, C., 2012a. *Oversendt i mail 3.5.2012 - Excel dokument med Byggevareindeksen*. Oslo: Multiconsult.

Listerud, C., 2012b. *FDV-nøkkeltall, Personlig meddelelse over telefon bekreftet på mail* (3. 5. 2012).

Listerud, C., 2012c. *Personlig meddelelse over mail vedrørende restverdi* (20. 5. 2012).

Lovdata, 1991. *Lov om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (energiloven)*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.lovdato.no/all/nl-19900629-050.html>

[Funnet 14. 5. 2012].

Lovdata, 2012a. *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)*. [Internett]

Tilgjengelig fra: http://lovdato.no/cgi-wift/wiftldles?doc=/app/gratis/www/docroot/for/sf/kr/kr-20100326-0489.html&emne=BYGGTEKNISK*%20%2b%20FORSKRIFT*&

[Funnet 28. 2. 2012].

Lovdata, 2012b. *LOV 1999-07-16 nr 69: Lov om offentlige anskaffelser*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://lovdato.no/all/hl-19990716-069.html>

[Funnet 17. 2. 2012].

Marszal, A. et al., 2011. Zero Energy Building - A review of definitions and calculation methodologies. *Energy And Buildings*, 12. 12., pp. 971-979.

Marton, I., 2008. *Avhendingsfase*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.byggemiljo.no/article.php?articleID=520&categoryID=289>

[Funnet 26. 3. 2012].

Meteorologisk Institutt, 2008. *Temperaturnormaler for Bærum i perioden 1961 - 1990*. [Internett]

Tilgjengelig fra:

http://retro.met.no/observasjoner/akershus/normaler_for_kommune_219.html?kommuner

[Funnet 17. 5. 2012].

Misa, 2012. *MiSA er norsk forhandler for SimaPro, verdens mest brukte LCA-verktøy*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.misa.no/content.php?clD=47>

[Funnet 2. 3. 2012].

Moen, L., 2012. *Informasjon om investeringskostnader for solceller på mail fra REC Group* (18. 5. 2012).

Multiconsult, 2006. *Veiledning til bruk av LCC*. [Internett]

Tilgjengelig fra:

<http://www.byggemiljo.no/getfile.php/Filer/Byggemiljø%20LCC%20med%20energieksempel%2028.10.10.pdf>

[Funnet 23. 2. 2012].

nfb.no, 2007. *Nettverket nøkkeltall for benchmarking (nfb)*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.nfb.no/>

[Funnet 23. 2. 2012].

Nilsen, M., 2012. *Budsjettpriser for installasjon av nytt ventilasjonsaggregat på mail fra Klimaentreprenør Randem & Hübert AS* (29. 5. 2012).

Norconsult, 2010. *Norsk Prisbok 2010*. Oslo: Norconsult Informasjonssystemer AS.

Norconsult, 2012. *Norsk Prisbok*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://nois.no/?aid=9111552>

[Funnet 24. 2. 2012].

Nord Pool spot, 2012. *Elspot prices*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Elspot/Area-Prices/ALL1/Hourly/>

[Funnet 6.5. 2012].

Nordby, K., 2009. *Plusshus*, Oslo: ZERO - Zero Emission Resource Organisation.

Norges Bank, 2012a. *Rentestatistikk*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.norges-bank.no/no/prisstabilitet/rentestatistikk/#alle>

[Funnet 27. 3. 2012].

Norges Bank, 2012b. *Valutakurs for euro (EUR)*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.norges-bank.no/no/prisstabilitet/valutakurser/eur/mnd/>

[Funnet 6. 5. 2012].

Norwegian Green Building Council, 2012. *Om BREEAM*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.ngbc.no/index.php?q=content/om-breeam>

[Funnet 2. 3. 2012].

Novakovic, V. et al., 2007. *ENØK I BYGNINGER Effektiv energibruk*. 3. utg. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag.

NVE, 2008. *Sluttbrukermarkedet*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/no/Kraftmarked/Sluttbrukermarkedet/>

[Funnet 18. 4. 2012].

Olje- og energidepartementet, 1998. *NOU 1998: 11 Energi- og kraftbalansen mot 2020, 7.2.6 Energipriser*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/dok/NOU-er/1998/NOU-1998->

[11/8/2/6.html?id=349045](#)

[Funnet 14. 4. 2012].

Olje- og Energidepartementet, 2001. *NOU 2002: 7*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/dok/NOU-er/2002/NOU-2002-7.html?id=145355>

[Funnet 13. 4. 2012].

Olsson, H. & Sørensen, S., 2003. *Forskningsprosessen - Kvalitative og kvantitative perspektiver*. 1. utg. Oslo: Gyldendal Akademisk.

OPAK, 2012. *Prisstigningsrapport*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.opak.no/kategoriblogg/46.html>

[Funnet 23. 2. 2012].

Opsiøn, H., 2012. *SURE- Sustainable Refurbishment. Utvikling av en norsk veileder for bærekraftig oppgradering av bygninger.*, Trondheim: Masteroppgave, NTNU.

Overøyre, C. S., 2012. *Oppgradering av kontorbygg til plusshus - Caseanalyse av Kjørbo*, Trondheim: Masteroppgave, NTNU.

Palm, L., 2010. *Energimerking av Kjørbo 1*, Oslo: Multiconsult.

Pettersen, J., 2011. *Forelesning i TEP 4223 - Impact Assessment*. Trondheim: NTNU.

Powerhouse, 2012a. *Om Powerhouse*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://powerhouse.no/om/>

[Funnet 12. 4. 2012].

Powerhouse, 2012b. *Powerhouse One i Trondheim*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://powerhouse.no/brattorkaia/>

[Funnet 24. 5. 2012].

Powerhouse, 2012c. *Kjørbo*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://powerhouse.no/kjorbo/>

[Funnet 12. 4. 2012].

programbyggerne.no, 2011a. *SIMIEN Wiki*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.programbyggerne.no/SIMIEN/>

[Funnet 21. 3. 2012].

Rist, T., 2012. *Forelesning i TBA 4170 - CO2 emissions from building materials: data, tools and examples*. Trondheim: NTNU/Norconsult.

Ryen, M., 2009. *Bygge klimavennlig*. [Internett]
Tilgjengelig fra: <http://www.statsbygg.no/Aktuelt/Tema/Bygge-klimavennlig/>
[Funnet 12. 3. 2012].

Røgeberg, S., 2010a. *Kjørbo-parken Vurdering av fasade (Intern rapport)*, Oslo: Rambøll.

Røgeberg, S., 2010b. *Demontering av fasadefelt på Kjørbo (Internt notat)*, Oslo: Rambøll Norge AS.

Rønning, A., Lyng, K.-A. & Vold, M., 2011. *Kunnskapsplattform for beregning av klimabelastning fra bygg og byggematerialer*, Kråkerøy: Østfoldforskning.

Samset, K., 2008. *Prosjekt i tidligfasen - valg av konsept*. 1. utg. Trondheim: Tapir Akademiske Forlag.

Selvig, E., 2007. *Klimagassregnskap for utbyggingsprosjekter*, Oslo: Civitas.

Selvig, E., 2010. *Vedleggsnotat - klimagassregnskap.no - Elektrisitetsbruk og klimagassutslipp - Er det noen sammenheng?*. Oslo: CICAS.

Selvig, E., 2011. *Utslippsfaktorer for elektrisitetsbruk - Hvordan dette er implementert i klimagassregnskap.no versjon 3*. [Internett]
Tilgjengelig fra: <http://www.klimagassregnskap.no/versjon3/portal16/images/El-utslippsfaktor%20-%20oppsummering%20og%20forklaring%20til%20versjon%203%20-%2003.03.2011.pdf>
[Funnet 18. 4. 2012].

Selvig, E., 2012a. *Nyheter i www.klimagassregnskap.no - smakebiter fra ny versjon 4*. [Internett]
Tilgjengelig fra: <http://www.klimagassregnskap.no/versjon3/portal16/images/Eivind%20-%20Brød%20og%20Miljø%2011.%20april.pdf>
[Funnet 22. 5. 2012].

Selvig, E., 2012b. *Personlig meddelelse over mail vedrørende bruk av klimagassregnskap.no* (27. 4. 2012).

Selvig, E. et al., 2011. *Klimagassregnskap.no/Versjon3 - en modell for livsløpsberegning av klimagassutslipp fra bygg*, Oslo: Statsbygg.

Selvig, E. et al., 2009. *Brukermanual Klimagassregnskap - Versjon 2*. [Internett]
Tilgjengelig fra: <http://www.anskaffelser.no/filearchive/brukermanual-klimagassregnskap-no-statsbygg.pdf>
[Funnet 15. 3. 2012].

SINTEF, 2011. *LCA som supplerende analyseverktøy*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.sintef.no/uploadpages/19286/16-2011%20VISES.pdf>

[Funnet 28. 2. 2012].

SINTEF, 2012. *Bærekraftige alternativer med ny programvare*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.sintef.no/Byggforsk/Nyheter/Barekraftige-alternativer-med-ny-programvare/>

[Funnet 1.3. 2012].

Skaansar, E. et al., 2010. *Energistatus*, Oslo: NVE.

Standard Norge, 2000. *Norsk Standard NS 3454 - Livssyklus kostnader for byggverk - Prinsipper og struktur*, Oslo: Standard Norge.

Standard Norge, 2006. *Norsk Standard NS-EN ISO 14040:2006 Miljøstyring. Livsløpsvurdering. Prinsipper og rammeverk*, Lysaker: Standard Norge.

Standard Norge, 2007a. *Norsk Standard NS3940 - Areal- og volumberegninger av bygninger*, Oslo: Standard Norge.

Standard Norge, 2007b. *NS 3031:2007+A1:2011 - Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data*. Oslo: Standard Norge.

Standard Norge, 2010. *Norsk Standard NS 3700:2010 - Kriterier for passivhus og lavenergihus. Boligbygninger*, Oslo: Standard Norge.

Standard Norge, 2011. *pr3701 - Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Yrkesbygninger (Høringsutkast)*, Oslo: Standard Norge.

Standard Norge, 2012a. *prNS 3454- Livssyklus kostnader for byggverk - Prinsipper og struktur (internt arbeidsdokument)*, Oslo: Standard Norge.

Standard Norge, 2012b. *Livsløpskostnader (LCC) og levetid*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.standard.no/no/Fagomrader/Bygg-og-anlegg/Fasilitetsstyring/Livsløpskostnader-LCC-og-levetid/>

[Funnet 20. 2. 2012].

Standard Norge, 2012c. *Passivhus yrkesbygninger – høring avsluttet*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.standard.no/no/Nyheter-og-produkter/Nyhetsarkiv/Bygg-anlegg-og-eiendom/2012/Passivhus-yrkesbygninger--horing-pa-ny-standard-er-avsluttet/>

[Funnet 23. 4. 2012].

Statens Bygningstekniske Etat, 2007. *Energi. Temaveiledning*, Oslo: Statens Bygningstekniske Etat.

Statistisk Sentralbyrå, 2012a. *Konsumprisindeksen fra 1865*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no/kpi/tab-01.html>

[Funnet 27. 3. 2012].

Statistisk Sentralbyrå, 2012b. *Priser på elektrisk kraft, 4. kvartal 2011*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no/emner/10/08/10/elkraftpris/>

[Funnet 19. 4. 2012].

Statsbygg, 2012. *LCC-verktøy*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.statsbygg.no/Dokumenter/LCC-verktoy/>

[Funnet 23. 2. 2012].

Stømman, A. H., 2011. *Forelesning i TEP4223 - Life Cycle Assessment of PV Solar systems*. Trondheim: NTNU.

Sørnes, K., 2010. *Plusshus og energieffektivisering*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.zero.no/bygg/plusshus-og-energieffektivisering>

[Funnet 23. 4. 2012].

USGBC, 2012. *What LEED is*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=1988>

[Funnet 2. 3. 2012].

Wolleng, T., 1979. *Byggforskningens håndbok nr.33: VVS-tekniske klimadata for Norge*. Norges bygningsforskningsinstitutt.

ZEB, 2011. *About ZEB*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.sintef.no/Projectweb/ZEB/About-ZEB/>

[Funnet 14. 3. 2012].

Vedlegg

Vedlegg 1 – Masteroppgavetekst

MASTEROPPGAVE

(TBA4905 Bygnings- og materialteknikk, masteroppgave)

VÅREN 2012

for

Oda Caroline Wood

Livssyklusvurderinger for levedyktig oppgradering av kontorbygg

Life Cycle Considerations for Sustainable Upgrading of Office Buildings

Det er stadig økt fokus på energieffektivisering i bygningssektoren. Myndighetene har høye ambisjoner for reduksjon av energibruken til drift av bygninger og mye av dette må hentes i eksisterende bygninger. Det er mål om forskriftskrav om passivhusstandard innen 2020, og en videre utvikling mot Plusshus. Oppgradering til høyere energistandard er ressurskrevende, og ettersom ressurstilgangen ofte er begrensende er det viktig å velge de riktige prosjektene og de rette tiltakene. Ofte er det et ensrettet fokus på energireduksjoner og et forutbestemt energikonsept, men for å oppnå bærekraftig oppgradering og god ressursutnyttelse må man se på et bredere spekter av konsekvenser. I "Lov om Offentlig Anskaffelse" § 6 stilles det krav om at man skal inkludere en vurdering av livssyklus kostnader ved anskaffelse og planlegging, samt de tilhørende miljøkonsekvensene. Også i privat bygningssektor er det økt fokus på behovet for livsløpstankegang.

Hensikten med oppgaven er å gi innsikt i konsekvensene av en energioppgradering utover kun energireduksjonen. Oppgaven skal med dette gi et bedre beslutningsgrunnlag for valg av fremgangsmåte ved energioppgradering. Dette knyttes direkte opp mot Entras planlagte oppgradering av kontorbygg i Kjørboveien 1 i Sandvika til Plusshus nivå.

Det gjøres en overordnet vurdering av Livssyklus kostnader (LCC) og klimagassutslipp for fire utvalgte konsepter:

- Standard oppgradering til forskriftskrav
- To ulike konsepter for oppgradering til Plusshus, herunder Entras foreslåtte konsept

Oppgaven består av tre deler:

- Et litteraturstudie for å kartlegge LCC, LCA og Plusshus konseptet
- Utarbeidelse av verktøy/metode for LCC og LCA
- Case studie av den aktuelle kontorbygningen med tilhørende beregninger og vurderinger.

Opgaven kan tenkes inkludere noen av punktene under.

- Overordnet beregning av livssyklus kostnader basert på nøkkeltall
- Klimagassberegninger ved hjelp av klimagassregnskap.no
- Vurdering av usikkerheter, herunder: kostnadstall, levetid, realrente, energipris og energimiks. Eventuelt ved bruk av sensitivitetsanalyser
- Anbefale videre arbeid innen emnet på bakgrunn av funn i oppgaven.

GENERELT

Opgaveteksten er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Eventuelle justeringer må skje i samråd med faglærer ved instituttet.

Ved bedømmelsen legges det vekt på grundighet i bearbeidningen og selvstendighet i vurderinger og konklusjoner, samt at framstillingen er velredigert, klar, entydig og ryddig uten å være unødig voluminøs.

Besvarelsen skal inneholde

- standard rapportforside (automatisk fra DAIM, <http://daim.idi.ntnu.no/>)
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finnes på siden <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>)
- forord
- sammendrag på norsk og engelsk (studenter som skriver sin masteroppgave på et ikke-skandinavisk språk og som ikke behersker et skandinavisk språk, trenger ikke å skrive sammendrag av masteroppgaven på norsk)
- innholdsfortegnelse inklusive oversikt over figurer, tabeller og vedlegg
- om nødvendig en liste med beskrivelse av viktige betegnelser og forkortelser benyttet
- hovedteksten
- referanser til kildemateriale som ikke er av generell karakter, dette gjelder også for muntlig informasjon og opplysninger.
- oppgaveteksten (denne teksten signert av faglærer) legges ved som Vedlegg 1.
- besvarelsen skal ha komplett paginering (sidenummerering).

Besvarelsen kan evt. utformes som en vitenskapelig artikkel. Arbeidet leveres da også med rapportforside og tittelside og om nødvendig med vedlegg som dokumenterer arbeid utført i prosessen med utforming av artikkelen.

Se forøvrig «Råd og retningslinjer for rapportskrivning ved prosjektarbeid og masteroppgave ved Institutt for bygg, anlegg og transport». Finnes på <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>

Hva skal innleveres?

Rutiner knyttet til innlevering av masteroppgaven er nærmere beskrevet på <http://daim.idi.ntnu.no/>. Trykking av masteroppgaven bestilles via DAIM direkte til Skipnes Trykkeri som leverer den trykte oppgaven til instituttkontoret 2-4 dager senere. Instituttet betaler for 3 eksemplarer, hvorav instituttet beholder 2 eksemplarer. Ekstra eksemplarer må bekostes av kandidaten/ ekstern samarbeidspartner.

Ved innlevering av oppgaven skal kandidaten levere en CD med besvarelsen i digital form i pdf- og word-versjon med underliggende materiale (for eksempel datainnsamling) i digital form (f. eks. excel). Videre skal kandidaten levere innleveringsskjemaet (fra DAIM) hvor både Ark-Bibl i SBI og Fellestjenester (Byggsikring) i SB II har signert på skjemaet. Innleveringsskjema med de aktuelle signaturene underskrives av instituttkontoret før skjemaet leveres Fakultetskontoret.

Dokumentasjon som med instituttets støtte er samlet inn under arbeidet med oppgaven skal leveres inn sammen med besvarelsen.

Besvarelsen er etter gjeldende reglement NTNUs eiendom. Eventuell benyttelse av materialet kan bare skje etter godkjenning fra NTNU (og ekstern samarbeidspartner der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatene av arbeidet til undervisnings- og forskningsformål som om det var utført av en ansatt. Ved bruk ut over dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

(Evt) Avtaler om ekstern veiledning, gjennomføring utenfor NTNU, økonomisk støtte m.v.

Beskrives her når dette er aktuelt. Se <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank> for avtaleskjema.

Helse, miljø og sikkerhet (HMS):

NTNU legger stor vekt på sikkerheten til den enkelte arbeidstaker og student. Den enkeltes sikkerhet skal komme i første rekke og ingen skal ta unødige sjanser for å få gjennomført arbeidet. Studenten skal derfor ved uttak av masteroppgaven få utdelt brosjyren "Helse, miljø og sikkerhet ved feltarbeid m.m. ved NTNU".

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgaven skal delta i feltarbeid, tokt, befarings, feltkurs eller ekskursjoner, skal studenten sette seg inn i "Retningslinje ved feltarbeid m.m.". Dersom studenten i arbeidet med oppgaven skal delta i laboratorie- eller verkstedarbeid skal studenten sette seg inn i og følge reglene i "Laboratorie- og verkstedhåndbok". Disse dokumentene finnes på fakultetets HMS-sider på nettet, se <http://www.ntnu.no/ivt/adm/hms/>.

Studenter har ikke full forsikringsdekning gjennom sitt forhold til NTNU. Dersom en student ønsker samme forsikringsdekning som tilsatte ved universitetet, anbefales det at han/hun tegner reiseforsikring og personskadeforsikring. Mer om forsikringsordninger for studenter finnes under samme lenke som ovenfor.

Innleveringsfrist:

Arbeidet med oppgaven starter 27. januar 2012

Besvarelsen leveres senest ved registrering i DAIM innen 22. juni 2012 kl 1500.

Faglærer ved instituttet: Rolf André Bohne

Veileder(eller kontaktperson) hos ekstern samarbeidspartner: Anders-Johan Almås (Multiconsult)

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU

Underskrift (Faglærer)

Vedlegg 2 – Utdrag fra SIMIEN-simulering for eksisterende blokk 5



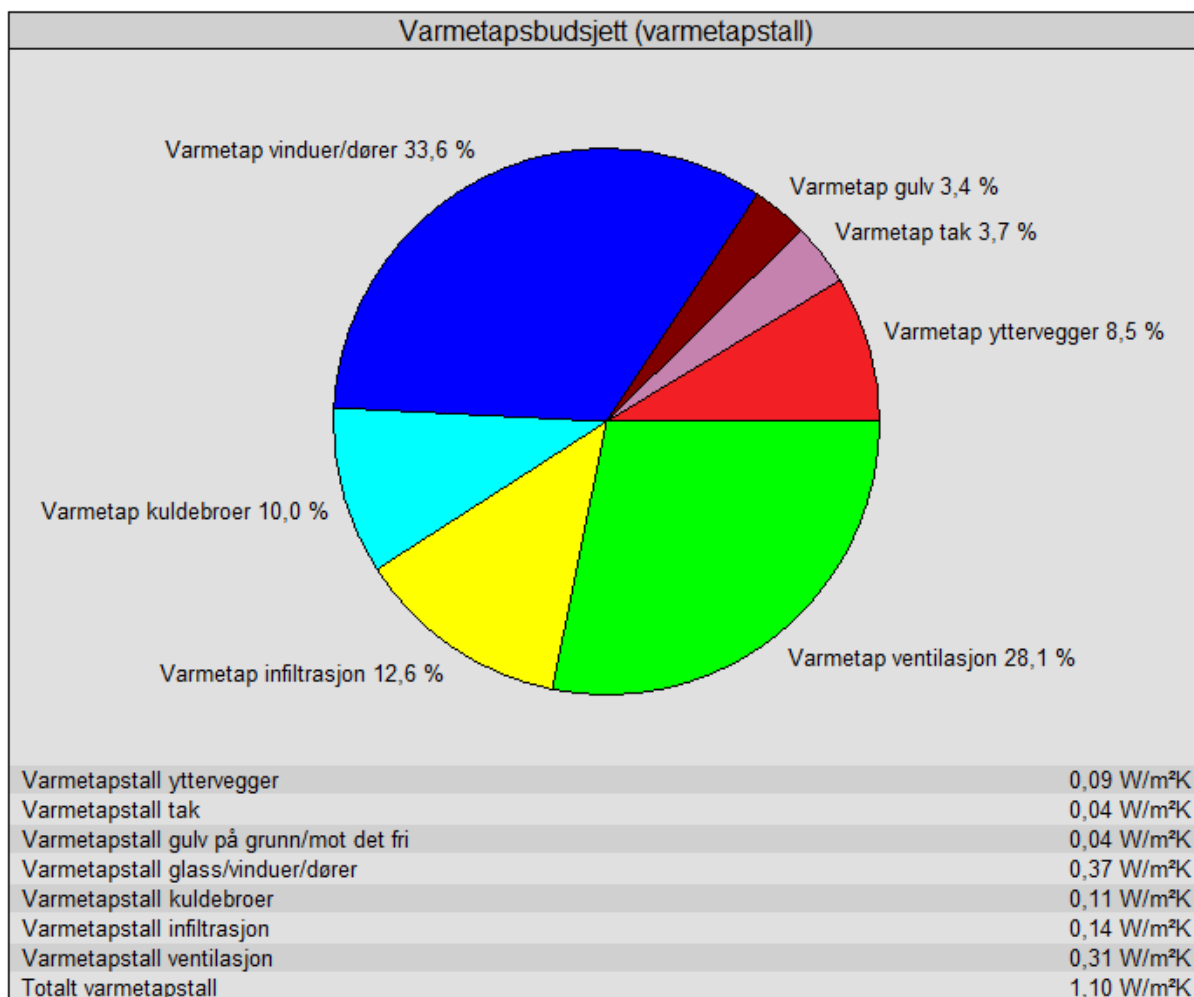
SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering
Tid/dato simulering: 15:23 7/5-2012
Programversjon: 5.007
Brukernavn: Student
Firma: Undervisningslisens
Inndatafil: C:\...\Eksisterende Kjørbo, med soneinndeling.smi
Prosjekt: Kjørbo Blokk 5
Sone: Alle soner

Energipost	Energibudsjett	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming		153471 kWh	62,9 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)		40583 kWh	16,6 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)		12152 kWh	5,0 kWh/m ²
3a Vifter		55121 kWh	22,6 kWh/m ²
3b Pumper		7851 kWh	3,2 kWh/m ²
4 Belysning		83551 kWh	34,3 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr		91900 kWh	37,7 kWh/m ²
6a Romkjøling		94086 kWh	38,6 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)		18587 kWh	7,6 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6		557303 kWh	228,6 kWh/m ²

Energivare	Levert energi til bygningen (beregnet)	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.		243383 kWh	99,8 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe		0 kWh	0,0 kWh/m ²
1c El. solenergi		0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje		0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass		0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme		234123 kWh	96,0 kWh/m ²
5 Biobrensel		0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen (Fjernkjøling)		131016 kWh	53,7 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6		608522 kWh	249,6 kWh/m ²



Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m²]:	813	
Areal tak [m²]:	619	
Areal gulv [m²]:	583	
Areal vinduer og ytterdører [m²]:	323	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m²]:	2438	
Oppvarmet luftvolum [m³]:	7367	
U-verdi yttervegger [W/m²K]	0,28	
U-verdi tak [W/m²K]	0,16	
U-verdi gulv [W/m²K]	0,16	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m²K]	2,80	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	13,3	
Normalisert kuldebroverdi [W/m²K]:	0,11	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m²K]	19	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	2,00	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	64	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	64,2	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	4,01	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	12,0	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	0,0	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,86	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	110	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	21,0	
Systemeffektfaktor kjøling:	0,86	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	22,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	48	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,60	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,60	
Driftstid oppvarming (timer)	24,0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	11,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	7,4	
Driftstid belysning (timer)	12,0	
Driftstid utstyr (timer)	12,0	
Oppholdstid personer (timer)	12,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	11,00	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	11,00	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	11,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	11,00	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	0,80	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	4,00	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,68	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:	0,75	

Inndata energiforsyning	
Beskrivelse	Verdi
1a Direkte el.	Systemvirkningsgrad: 0,98 Kjølefaktor: 1,00 Energipris: 0,80 kr/kWh CO2-utslipp: 395 g/kWh Andel romoppvarming: 0,0% Andel oppv, tappevann: 40,0% Andel varmebatteri: 0,0 % Andel kjølebatteri: 0,0 % Andel romkjøling: 0,0 % Andel el, spesifikt: 100,0 %
4 Fjernvarme	Systemvirkningsgrad: 0,86 Kjølefaktor: 1,00 Energipris: 0,75 kr/kWh CO2-utslipp: 231 g/kWh Andel romoppvarming: 100,0% Andel oppv, tappevann: 60,0% Andel varmebatteri: 100,0 % Andel kjølebatteri: 0,0 % Andel romkjøling: 0,0 % Andel el, spesifikt: 0,0 %
Annen energikilde	Systemvirkningsgrad: 1,00 Kjølefaktor: 0,86 Energipris: 0,80 kr/kWh CO2-utslipp: 395 g/kWh Andel romoppvarming: 0,0% Andel oppv, tappevann: 0,0% Andel varmebatteri: 0,0 % Andel kjølebatteri: 100,0 % Andel romkjøling: 100,0 % Andel el, spesifikt: 0,0 %



SIMIEN

Evaluering TEK 10

Simuleringsnavn: Evaluering

Tid/dato simulering: 15:30 7/5-2012

Programversjon: 5.007

Brukernavn: Student

Firma: Undervisningslisens

Inndatafil: C:\...\Eksisterende Kjørbo, med soneinndeling - Evaluering.smi

Prosjekt: Kjørbo Blokk 5

Sone: Alle soner

Resultater av evalueringen	
Evaluering av	Beskrivelse
Energiltak	Bygningen tilfredsstillter ikke kravene til energiltak i paragraf §14-3
Varmetapsramme	Bygningen tilfredsstillter ikke omfordeling energiltak (varmetapstall) ihht. §14-3
Energiramme	Bygningen tilfredsstillter ikke energirammen ihht. §14-4
Minstekrav	Bygningen tilfredsstillter ikke minstekravene i §14-5
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstillter ikke minstekrav gitt i NS3031:2010 (tabell A.6)
Energiforsyning	Bygningen tilfredsstillter krav til energiforsyning i §14-7
Samlet evaluering	Bygningen tilfredsstillter ikke byggeforskriftenes energikrav

Energiltak (§14-3)		
Beskrivelse	Verdi	Krav
Samlet glass-, vindus og dørareal delt på bruksarealet [%]	13,3	20,0
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,28	0,18
U-verdi tak [W/m ² K]	0,16	0,13
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m ² K]	0,16	0,15
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]	2,80	1,20
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]	0,11	0,06
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	2,00	1,50
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	43	80
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	4,01	2,00
Lokal kjøling er ikke tillatt i tiltaksmodellen	-	-

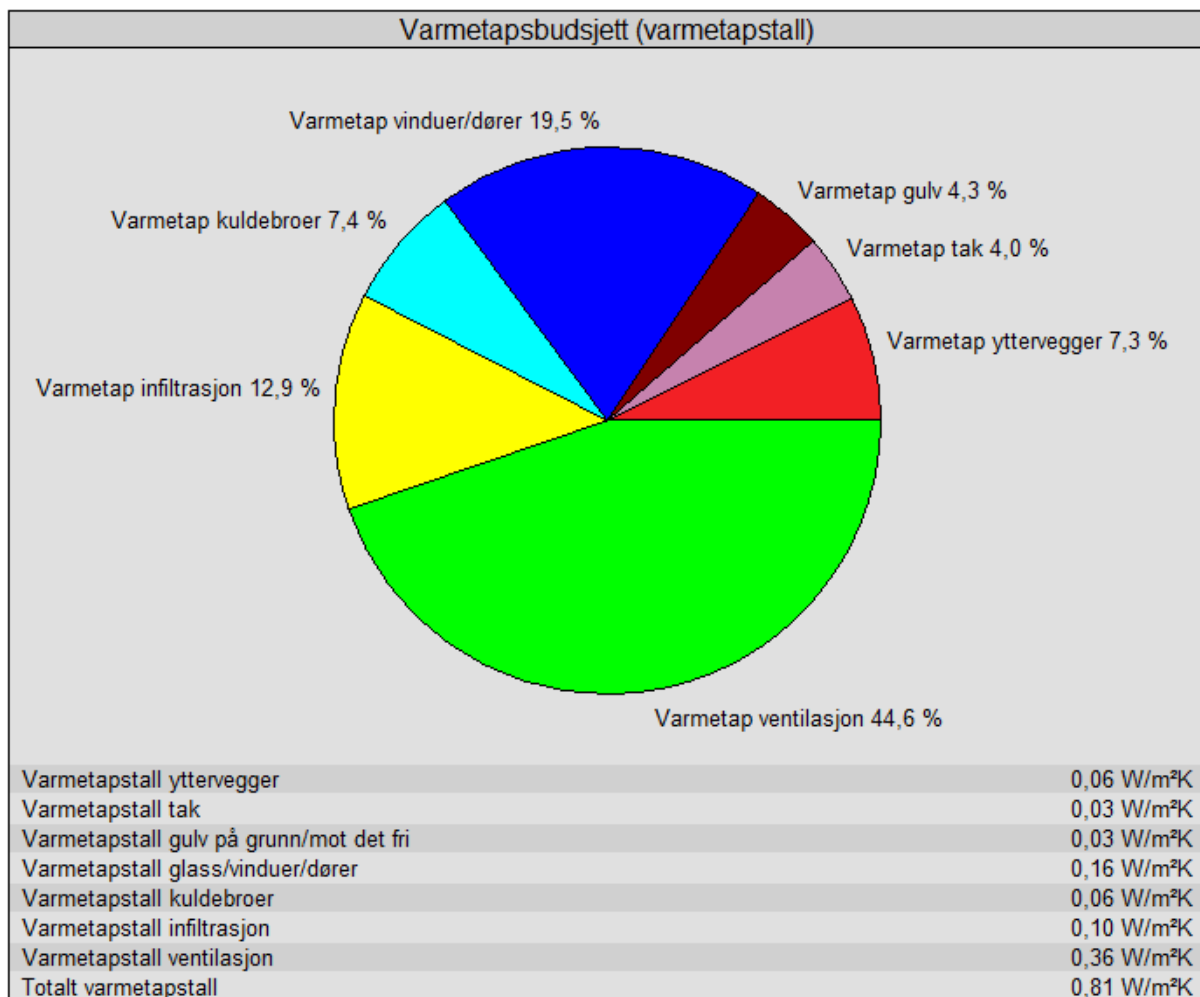
Vedlegg 3 – Utdrag fra SIMIEN-beregninger – tilfredsstillende energikvaliteter i TEK 10



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering
Tid/dato simulering: 17:51 30/5-2012
Programversjon: 5.007
Brukernavn: Student
Firma: Undervisningslisens
Inndatafil: C:\...\Standard oppgraderingTEK10.smi
Prosjekt: Kjørbo Blokk 5
Sone: Kjørbo Blokk 5



Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	801	
Areal tak [m ²]:	618	
Areal gulv [m ²]:	582	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	323	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	2438	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	7367	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,18	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,13	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,15	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	1,20	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	13,3	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,06	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	12	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	1,50	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	80	



SIMIEN

Evaluering TEK 10

Simuleringsnavn: Evaluering
 Tid/dato simulering: 17:53 30/5-2012
 Programversjon: 5.007
 Brukernavn: Student
 Firma: Undervisningslisens
 Inndatafil: C:\...\Standard oppgraderingTEK10.smi
 Prosjekt: Kjørbo Blokk 5
 Sone: Alle soner

Resultater av evalueringen	
Evaluering av	Beskrivelse
Energiltak	Bygningen tilfredsstiller kravene til energiltak i paragraf §14-3
Varmetapsramme	Bygningen tilfredsstiller omfordeling energiltak (varmetapstall) ihht. §14-3
Energiramme	Bygningen tilfredsstiller energirammen ihht. §14-4
Minstekrav	Bygningen tilfredsstiller minstekravene i §14-5
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstiller minstekrav gitt i NS3031:2010 (tabell A.6)
Energiforsyning	Bygningen tilfredsstiller krav til energiforsyning i §14-7
Samlet evaluering	Bygningen tilfredsstiller byggeforskriftenes energikrav

Energiltak (§14-3)		
Beskrivelse	Verdi	Krav
Samlet glass-, vindus og dørareal delt på bruksarealet [%]	13,3	20,0
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,18	0,18
U-verdi tak [W/m ² K]	0,13	0,13
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m ² K]	0,15	0,15
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]	1,20	1,20
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]	0,06	0,06
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	1,50	1,50
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	80	80
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	2,00	2,00

Vedlegg 4 – Inndata SIMIEN-beregninger Standard oppgradering

		Beskrivelse av punkt		Verdier i parentes er verdier for energikvaliteter i TEK 10 for kontroll av varmetapstall		Begrunnelse/kilde
		Valgt verdi	Enhet	Valgt verdi	Enhet	
Energiforsyning	Elektrisitet	Data for energikilde	Systemvirkningsgrad oppvarming	0,98		
			Systemeffektfaktor kjøling	1		
		Dekningsprosent av årlig energibehov	Romoppvarming	40	%	
			El. spesifikk energibehov	100	%	
	Fjernvarme	Data for energikilde	Systemvirkningsgrad oppvarming	0,86		
			Systemeffektfaktor kjøling	1		
		Dekningsprosent av årlig energibehov	Romoppvarming	100	%	
			Oppvarming av tappevann	60	%	
			Varmebatteri ventilasjon	100	%	
	Fjernvarme	Data for energikilde	Systemvirkningsgrad oppvarming	1		
		Systemeffektfaktor kjøling	0,86			
Dekningsprosent av årlig energibehov		Kjølebatteri ventilasjon	100			
		Lokal kjøling (romkjøling)	100	%		
Kjørbo, Blokk 5	Oppvarmet gulvareal		2 438	m ²		Oppmålt tegning, det bygges ikke innover (Overøye, 2012)
	Oppvarmet luftvolum		7 367	m ³		Oppmålt tegning

Infiltrasjon	Lekkasjetall (N50)	1,5 1/h	Ved hjelp av god utførelse og tetttiltak.
	Skjermingsklasse	Moderat skjerming	(Overøye, 2012)
	Fasadesituasjon	Mer enn en vindutsatt fasade	(Overøye, 2012)
Møbler/interiør		Lett møblert rom	(Overøye, 2012)
Driftsdager		5 dagers uke, ingen ferie	Veiledende verdi i NS 3031, tabell A.3. (Standard Norge, 2007)
Kuldebroer	Normalisert kuldebroverdi	0,06 W/K/m ²	Antar at dette oppnås ved å føre isolasjon over dekkekanter fasade.
Yttervegg Sørøst	Totalt areal	228 m ²	Oppmålt tegning (Overøye, 2012)
	Inndata konstruksjon	(0,18) W/ m ² K	Energikrav i TEK 10 (Lovdata, 2012)
		0,19 W/ m ² K	Etterisolere utvendig 98 mm
		0,8	(Overøye, 2012)
	Himmelretning/h orisont	Gipsplate 13 mm.	(Overøye, 2012)
		225 °	Antatt ut i fra situasjonskart (Overøye, 2012)
		0 °	(Overøye, 2012) Gjelder samtlige yttervegger
Yttervegg Nordvest	Totalt areal	228 m ²	Oppmålt tegning (Overøye, 2012)
	Inndata konstruksjon	(0,18) W/ m ² K	Se yttervegg Sørøst
		0,19 W/ m ² K	
		Nei	(Overøye, 2012)
	Himmelretning	Gips plate 13 mm.	(Overøye, 2012)
		315 °	Antatt ut i fra situasjonskart (Overøye, 2012)
Yttervegg Nordøst	Totalt areal	228 m ²	Oppmålt tegning (Overøye, 2012)
	Inndata konstruksjon	(0,18) W/ m ² K	Se yttervegg Sørøst
		0,19 W/ m ² K	
		Nei	Antatt ut i fra situasjonskart (Overøye, 2012)
	Himmelretning	Gips plate 13 mm.	(Overøye, 2012)
		45 °	Antatt ut i fra situasjonskart (Overøye, 2012)
Yttervegg Sørvest	Totalt areal	228 m ²	Oppmålt tegning (Overøye, 2012)
	Inndata konstruksjon	(0,18) W/ m ² K	Se yttervegg Sørøst
		0,19 W/ m ² K	
		0,8	(Overøye, 2012)

		Varmelagring i innvendig sjikt	Gipsplate 13 mm.	(Overøyve, 2012)	
Vinduer	Himmelretning	Himmelretning	225 °	Antatt ut i fra situasjonskart (Overøyve, 2012)	
	Antall vinduer		113 stk.	Oppmålt tegning. Skifter ut eksisterende vinduer.	
	Vindu størrelse	Bredde		2,2 m	Oppmålt tegning
		Høyde		1,3 m	Oppmålt tegning
		Arealandel karm og ramme		0,2	(Overøyve, 2012)
	Varmetaps egenskaper	Egendefinert total U-verdi for hele vinduskonstruksjonen	1,2 W/ m ² K	Nye vinduer med lavere U-verdi enn eksisterende bygg	
	Varmetilskudds egenskaper	Egendefinert solskjerming	0,68	Som for eksisterende bygg (Overøyve, 2012)	
	Bygnings-utspring	Overheng over vinduer og vertikale utspring	0 m	Ingen bygningsutspring(Overøyve, 2012)	
	Kompakttak	Totalt takareal		618 m ²	Tegning (Overøyve, 2012)
		Inndata konstruksjon	Egendefinert konstruksjon	U-verdi	Energikrav i TEK 10 (Lovdata, 2012)
Solutsatt takflate			Utvendig absorpsjonskoeffisient	0,16 W/ m ² K	Som for eksisterende bygg (Overøyve, 2012)
		Varmelagring innvendig sjikt		0,8	(Overøyve, 2012)
Horisont			Åpen akustisk himling + betong		Verdi fra SIMIEN (Overøyve, 2012)
Kjeller	Takvinkel		0 °	(Overøyve, 2012)	
	Størrelse	Gulvareal	582 m ²	Oppmålt tegning	
		Lengde yttervegg	96,5 m	Oppmålt tegning	
		Midlere høyde vegg	2,2 m	(Overøyve, 2012)	
		Tykkelse vegg	0,43 m	(Overøyve, 2012)	
	Vegg-konstruksjon	Varmelagring innvendig sjikt vegg	Lettklinker		Verdi fra SIMIEN (Overøyve, 2012)
		Veggkonstruksjon, egendefinert konstruksjon	(0,25)	W/ m ² K	Energikrav i TEK 10 (Lovdata, 2012)
			0,20	W/ m ² K	Etterisolere med 50 mm EPS, og 50 mm påstøp på eksisterende tak
	Gulv-konstruksjon	Varmelagring innvendig sjikt gulv	Mellom tungt gulv		Verdi fra SIMIEN (Overøyve, 2012)
		Gulvkonstruksjon, egendefinert gulvkonstruksjon	(0,40)	W/ m ² K	Energikrav i TEK 10 (Lovdata, 2012)
Grunnforhold		0,22	W/ m ² K	Etterisolere med 50 mm EPS og 50 mm påstøp	
		Leire/silt		Leire og sand (Overøyve, 2012)	

Ventilasjon CAV		Balansert ventilasjon			
Type					
Luftmengde	Tilluft i driftstida	10	m ³ /hm ²	Veiledende verdir i NS 3010 tabell B.1 (Standard Norge, 2007)	
	Tilluft utenfor driftstid og i helg/ferie	3	m ³ /hm ²	Veiledende verdir i NS 3010 tabell B.1 (Standard Norge, 2007)	
	Avtrekk driftstid	10	m ³ /hm ²	Veiledende verdir i NS 3010 tabell B.1 (Standard Norge, 2007)	
	Avtrekk utenfor driftstid og i helg/ferie	3	m ³ /hm ²	Veiledende verdir i NS 3010 tabell B.1 (Standard Norge, 2007)	
	SPF-faktor vifte	2,0	kW/m ³ s	Krav i TEK 10 (Lovdata, 2012)	
	Konstant tillufts temperatur	19	°C	Endres i forhold til eksisterende bygg siden tilluften bør tilføres med lavere temperatur enn romluften for å skape god sirkulasjon (Overøyve, 2012)	
	Driftstid	6.00-18.00	12 t	Veiledende verdi i NS 3031, tabell A.3. (Standard Norge, 2007)	
	Komponenter	Varmebatteri	30	W/m ²	Som ved eksisterende bygg (Overøyve, 2012)
		Vannbårent varmebatteri.	30	K	(Overøyve, 2012)
		Kjølebatteri	0,5	kW/(l/s)	(Overøyve, 2012)
Vannbårent kjølebatteri		30	W/m ²	Som ved eksisterende bygg (Overøyve, 2012)	
Varmegjenvinner		6	K	(Overøyve, 2012)	
		0,6	kW/(l/s)	(Overøyve, 2012)	
		0,8		Roterende varmegjenvinner. I henhold til krav i TEK 10 (Lovdata, 2012)	
Nattkjøling	Frostsikrings-temperatur	Nei	°C	(Overøyve, 2012)	
		Ingen			
Belysning	I driftstid	8	W/m ²	Veiledende verdi i NS 3031, tabell A.1 (Standard Norge, 2007)	
		100	%	Veiledende verdi i NS 3031, tabell A.2 (Standard Norge, 2007)	
	Utenfor driftstid og helg/fridager	0	W/m ²	Antar alt avslått etter driftstid	
		100	%	Veiledende verdi i NS 3031, tabell A.2 (Standard Norge, 2007)	
	Driftsmønster	12 t/dag (6.00-18.00)		Veiledende verdi i NS 3031, tabell A.3 (Standard Norge, 2007)	
Internlaster	I driftstid	8	W/m ²	Veiledende verdi i NS 3031, tabell A.1 (Standard Norge, 2007)	
		100	%	Veiledende verdi i NS 3031, tabell A.2 (Standard Norge, 2007)	
	Utenfor driftstid og helg/fridager	0	W/m ²	Antar alt avslått etter driftstid	
		100	%	Veiledende verdi i NS 3031, tabell A.2 (Standard Norge, 2007)	
	Driftsmønster	12 t/dag (6.00-18.00)		Veiledende verdi i NS 3031, tabell A.3 (Standard Norge, 2007)	

Teknisk utstyr	I driftstid	Midlere effekt	11	W/m ²	Veiledende verdi i NS 3031, tabell A.1 (Standard Norge, 2007)	
		Varmetilskudd	100	%	Veiledende verdi i NS 3031, tabell A.2 (Standard Norge, 2007)	
	Utenfor driftstid	Midlere effekt	1,1	W/m ²	Antar alt er avslått etter driftstid	
		Varmetilskudd	100	%	Veiledende verdi i NS 3031, tabell A.2 (Standard Norge, 2007)	
	Helg/fridager	Midlere effekt	0	W/m ²	Antar alt slått av i helg/fridager	
		Varmetilskudd	100	%	Veiledende verdi i NS 3031, tabell A.2 (Standard Norge, 2007)	
	Driftsmønster		12 t/dag (6.00-18.00)		Veiledende verdi i NS 3031, tabell A.3 (Standard Norge, 2007)	
	Tappevann	På driftsdager	Midlere effekt	0,8	W/m ²	(Overøye, 2012)
			Varmetilskudd	0	%	Veiledende verdi i NS 3031, tabell A.2 (Standard Norge, 2007)
			Vanddamp	0	g/h	Anta 0 g/h pga. avgrensa bruk av tappevann (Overøye, 2012)
Helg/fridager		Midlere effekt	0	W/m ²	Antar at det ikke brukes tappevann i helg/fridager	
Varmetilskudd personer		Varmetilskudd	0	%	Veiledende verdi i NS 3031, tabell A.2 (Standard Norge, 2007)	
		Vanddamp	0	g/h	Anta 0 g/h pga. avgrenset bruk av tappevann (Overøye, 2012)	
	I arbeidstiden	Gjennomsnittlig varmetilskudd	4	W/m ²	Veiledende verdi i NS 3031, tabell A.1 (Standard Norge, 2007)	
	Utenfor arbeidstida.	Gjennomsnittlig varmetilskudd	0	W/m ²	Ingen tilstedeværelse etter driftstid og i helg/fridager (konservativt) (Overøye, 2012)	
Oppvarming	Driftsmønster		12 t/dag (6.00-18.00)		Veiledende verdi i NS 3031, tabell A.3 (Standard Norge, 2007)	
	Maksimal avgitt effekt		33	W/m ²	Antar et denne reduseres i forhold til eksisterende bygg på grunn av redusert energibehov. Reduseres etter tilfredsstillende romtemperaturer ved årssimulering i SIMIEN.	
	Konvektiv andel avgitt effekt		0,5		Som eksisterende bygg (Overøye, 2012)	
	Oppvarming med vannbårent	Tur temperatur	60	°C	Som eksisterende bygg (Overøye, 2012)	
		Retur temperatur	43	°C	Som eksisterende bygg (Overøye, 2012)	

		Spesifikk pumpeeffekt	0,5 kW/(l/s)	Som eksisterende bygg (Overøye, 2012)	
Driftsstrategi	Setpunkttemperatur i driftstiden		21 °C	Veiledende verdi i NS 3031, tabell A.3 (Standard Norge, 2007)	
	Setpunkttemperatur utenfor driftstiden		19 °C	Veiledende verdi i NS 3031, tabell A.3 (Standard Norge, 2007)	
Lokal Kjøling	Driftsmønster		12/dag.	Veiledende verdi i NS 3031, tabell A.3 (Standard Norge, 2007)	
	Inndata kjølesystem	Setpunkttemperatur	22 °C	Som ved eksisterende bygg (Overøye, 2012)	
		Maksimal levert effekt	30 W/m ²		Som eksisterende bygg (Overøye, 2012). Reduseres ikke ettersom bygget fremdeles har et høyt kjølebehov
	Kjøling via vannbårent kjølesystem	Konvektiv andel kjøling	0,5		Som eksisterende bygg (Overøye, 2012)
		Tur temperatur	15 °C		Som eksisterende bygg (Overøye, 2012)
		Retur temperatur	21 °C		Som eksisterende bygg (Overøye, 2012)
	Driftstid	Spesifikk pumpeeffekt	0,6 kW/(l/s)		Som eksisterende bygg (Overøye, 2012)
			Kl. 6.00-18.00.	Veiledende verdi i NS 3031, tabell A.3 (Standard Norge, 2007)	
			Ingen kjøling på dager uten drift	(Overøye, 2012)	
			Kjøling aktivt fra 1. april-1. september	(Overøye, 2012)	

Kilder:

Lovdata, 2012. *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggeteknisk forskrift)*. [Internett]
 Tilgjengelig fra: http://lovdata.no/cgi-wift/wiftldles?doc=/app/gratis/www/docroot/for/sf/kr/kr-20100326-0489.html&emne=BYGGTEKNISK*%20%2b%20FORSKRIFT*&
 [Fullet 28. 2. 2012].

Overøye, C. S., 2012. *Oppgradering av kontorbygg til plussus - Caseanalyse av Kjørbo*, Trondheim: Masteroppgave, NTNU.

Standard Norge, 2007. *NS 3031:2007+A1:2011 - Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data*. Oslo: Standard Norge.

Vedlegg 5 – Utdrag fra SIMIEN-simulering for standard oppgradering



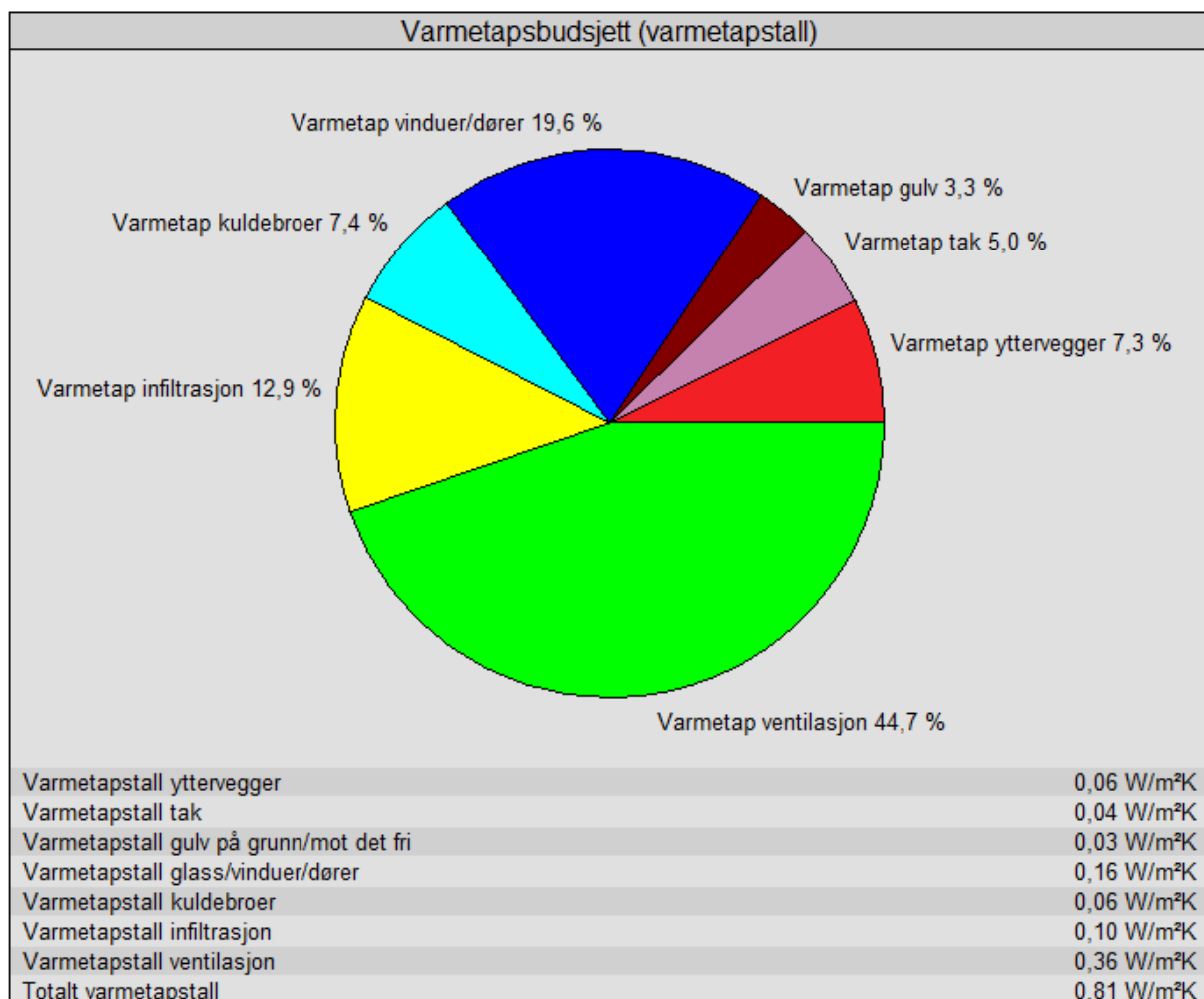
SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering
Tid/dato simulering: 13:34 30/5-2012
Programversjon: 5.007
Brukernavn: Student
Firma: Undervisningslisens
Inndatafil: C:\...\Standard oppgradering etter omfordeiling.smi
Prosjekt: Kjørbo Blokk 5
Sone: Kjørbo Blokk 5

Energipost	Energibudsjett	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming		75352 kWh	30,9 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)		39633 kWh	16,3 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)		12219 kWh	5,0 kWh/m ²
3a Vifter		52597 kWh	21,6 kWh/m ²
3b Pumper		6111 kWh	2,5 kWh/m ²
4 Belysning		61087 kWh	25,1 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr		92399 kWh	37,9 kWh/m ²
6a Romkjøling		68531 kWh	28,1 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)		18519 kWh	7,6 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6		426448 kWh	174,9 kWh/m ²

Energivare	Levert energi til bygningen (beregnet)	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.		217180 kWh	89,1 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe		0 kWh	0,0 kWh/m ²
1c El. solenergi		0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje		0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass		0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme		142228 kWh	58,3 kWh/m ²
5 Biobrensel		0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen (Fjernkjøling)		101222 kWh	41,5 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6		460630 kWh	188,9 kWh/m ²



Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m²]:	801	
Areal tak [m²]:	618	
Areal gulv [m²]:	582	
Areal vinduer og ytterdører [m²]:	323	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m²]:	2438	
Oppvarmet luftvolum [m³]:	7367	
U-verdi yttervegger [W/m²K]	0,18	
U-verdi tak [W/m²K]	0,16	
U-verdi gulv [W/m²K]	0,11	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m²K]	1,20	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	13,3	
Normalisert kuldebroverdi [W/m²K]:	0,06	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m²K]	12	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	1,50	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	80	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	80,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	2,00	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	10,0	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	3,0	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,86	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	63	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,0	
Systemeffektfaktor kjøling:	0,86	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	22,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	60	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,60	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,60	
Driftstid oppvarming (timer)	12,0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	12,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	12,0	
Driftstid belysning (timer)	12,0	
Driftstid utstyr (timer)	12,0	
Oppholdstid personer (timer)	12,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	8,00	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	8,00	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	11,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	11,00	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	0,80	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	4,00	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,68	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:	0,75	

Inndata energiforsyning	
Beskrivelse	Verdi
1a Direkte el.	Systemvirkningsgrad: 0,98 Kjølefaktor: 1,00 Energipris: 0,80 kr/kWh CO2-utslipp: 395 g/kWh Andel romoppvarming: 0,0% Andel oppv, tappevann: 40,0% Andel varmebatteri: 0,0 % Andel kjølebatteri: 0,0 % Andel romkjøling: 0,0 % Andel el, spesifikt: 100,0 %
4 Fjernvarme	Systemvirkningsgrad: 0,86 Kjølefaktor: 1,00 Energipris: 0,75 kr/kWh CO2-utslipp: 231 g/kWh Andel romoppvarming: 100,0% Andel oppv, tappevann: 60,0% Andel varmebatteri: 100,0 % Andel kjølebatteri: 0,0 % Andel romkjøling: 0,0 % Andel el, spesifikt: 0,0 %
Annen energikilde	Systemvirkningsgrad: 1,00 Kjølefaktor: 0,86 Energipris: 0,80 kr/kWh CO2-utslipp: 395 g/kWh Andel romoppvarming: 0,0% Andel oppv, tappevann: 0,0% Andel varmebatteri: 0,0 % Andel kjølebatteri: 100,0 % Andel romkjøling: 100,0 % Andel el, spesifikt: 0,0 %

Vedlegg 6 – Utdrag fra SIMIEN-simulering for konsept 1



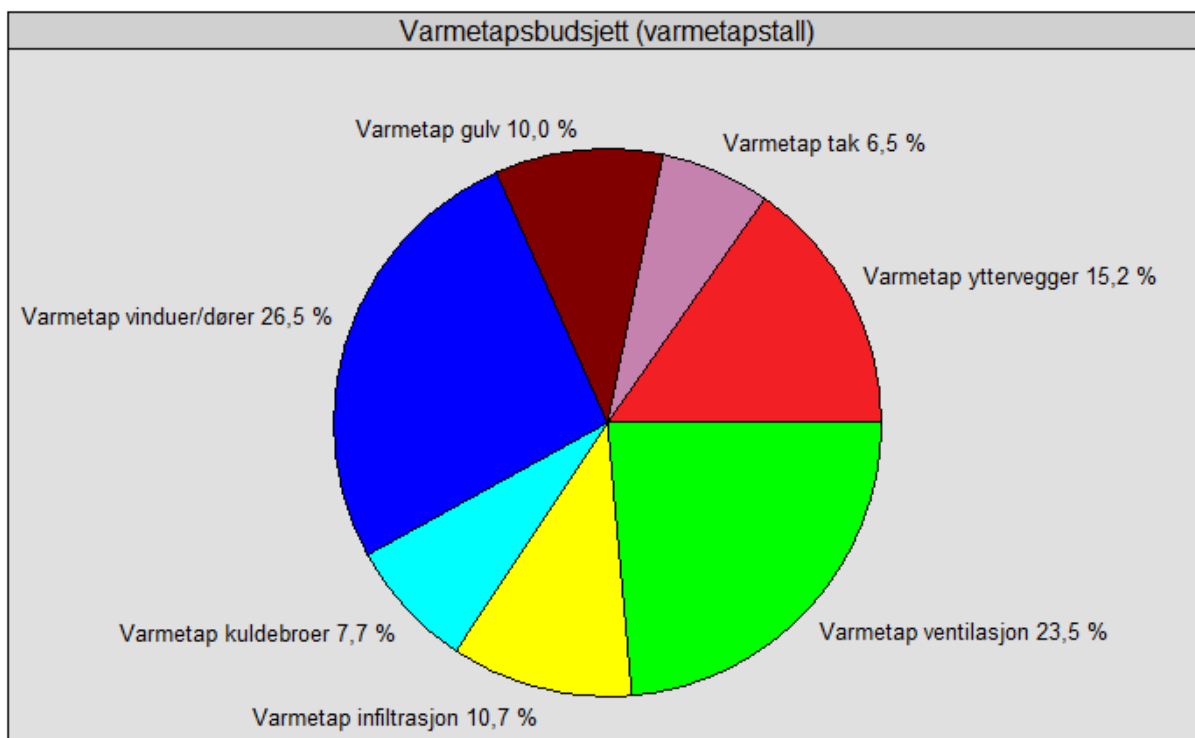
SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering
Tid/dato simulering: 09:50 9/5-2012
Programversjon: 5.007
Brukernavn: Student
Firma: Undervisningslisens
Inndatafil: C:\...\Konsept modreat endeleg.smi
Prosjekt: Kjørbo Blokk 5
Sone: Kjørbo Blokk 5

Energibudsjett			
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov	
1a Romoppvarming	32329 kWh	13,3 kWh/m ²	
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	5331 kWh	2,2 kWh/m ²	
2 Varmtvann (tappevann)	12219 kWh	5,0 kWh/m ²	
3a Vifter	10182 kWh	4,2 kWh/m ²	
3b Pumper	3878 kWh	1,6 kWh/m ²	
4 Belysning	30543 kWh	12,5 kWh/m ²	
5 Teknisk utstyr	45807 kWh	18,8 kWh/m ²	
6a Romkjøling	6850 kWh	2,8 kWh/m ²	
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	9527 kWh	3,9 kWh/m ²	
Totalt netto energibehov, sum 1-6	156666 kWh	64,3 kWh/m ²	

Levert energi til bygningen (beregnet)			
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi	
1a Direkte el.	90410 kWh	37,1 kWh/m ²	
1b El. Varmepumpe	16586 kWh	6,8 kWh/m ²	
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
4 Fjernvarme	5683 kWh	2,3 kWh/m ²	
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
6. Annen ()	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
Totalt levert energi, sum 1-6	112680 kWh	46,2 kWh/m ²	



Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	801	
Areal tak [m ²]:	618	
Areal gulv [m ²]:	582	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	323	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	2438	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	7367	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,18	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,10	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,16	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	0,78	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	13,3	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,03	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	12	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0,60	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	90	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	90,0	
Spesifikk vitteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	0,70	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	6,0	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	1,0	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	3,18	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	26	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,0	
Systemeffektfaktor kjøling:	3,70	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	24,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	37	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,60	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,60	
Driftstid oppvarming (timer)	12,0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	12,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	12,0	
Driftstid belysning (timer)	12,0	
Driftstid utstyr (timer)	12,0	
Oppholdstid personer (timer)	12,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	4,00	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	4,00	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	6,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	6,00	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	0,80	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	4,00	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,17	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:	0,75	

Inndata energiforsyning	
Beskrivelse	Verdi
1a Direkte el.	Systemvirkningsgrad: 1,00 Kjølefaktor: 1,00 Energipris: 0,80 kr/kWh CO2-utslipp: 395 g/kWh Andel romoppvarming: 0,0% Andel oppv, tappevann: 0,0% Andel varmebatteri: 0,0 % Andel kjølebatteri: 0,0 % Andel romkjøling: 0,0 % Andel el, spesifikt: 100,0 %
4 Fjernvarme	Systemvirkningsgrad: 0,86 Kjølefaktor: 1,00 Energipris: 0,75 kr/kWh CO2-utslipp: 231 g/kWh Andel romoppvarming: 0,0% Andel oppv, tappevann: 40,0% Andel varmebatteri: 0,0 % Andel kjølebatteri: 0,0 % Andel romkjøling: 0,0 % Andel el, spesifikt: 0,0 %
1b El. Varmepumpe	Systemvirkningsgrad: 3,70 Kjølefaktor: 3,70 Energipris: 0,80 kr/kWh CO2-utslipp: 395 g/kWh Andel romoppvarming: 100,0% Andel oppv, tappevann: 60,0% Andel varmebatteri: 100,0 % Andel kjølebatteri: 100,0 % Andel romkjøling: 100,0 % Andel el, spesifikt: 0,0 %

Vedlegg 7 – Utdrag fra SIMIEN-simulering for konsept 2



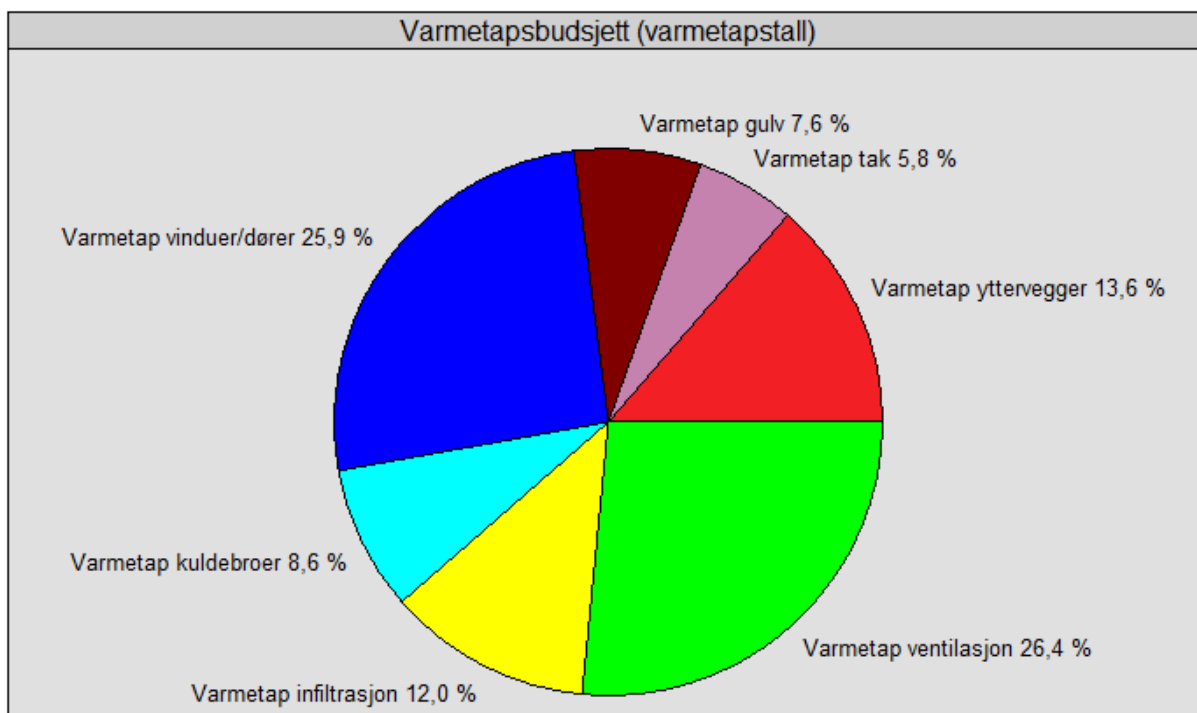
SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering
Tid/dato simulering: 09:54 9/5-2012
Programversjon: 5.007
Brukernavn: Student
Firma: Undervisningslisens
Inndatafil: C:\...\Konsept ekstrem endeleg.smi
Prosjekt: Kjørbo Blokk 5
Sone: Kjørbo Blokk 5

Energipost	Energibudsjett	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming		24558 kWh	10,1 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)		4917 kWh	2,0 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)		12219 kWh	5,0 kWh/m ²
3a Vifter		10182 kWh	4,2 kWh/m ²
3b Pumper		3765 kWh	1,5 kWh/m ²
4 Belysning		30543 kWh	12,5 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr		45807 kWh	18,8 kWh/m ²
6a Romkjøling		8045 kWh	3,3 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)		9527 kWh	3,9 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6		149563 kWh	61,3 kWh/m ²

Energivare	Levert energi til bygningen (beregnet)	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.		90297 kWh	37,0 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe		14697 kWh	6,0 kWh/m ²
1c El. solenergi		0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje		0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass		0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme		5683 kWh	2,3 kWh/m ²
5 Biobrensel		0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen ()		0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6		110678 kWh	45,4 kWh/m ²



Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	801	
Areal tak [m ²]:	618	
Areal gulv [m ²]:	582	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	323	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	2438	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	7367	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,14	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,08	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,11	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	0,68	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	13,3	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,03	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	12	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0,60	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	90	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	90,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	0,70	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	6,0	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	1,0	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	3,08	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	24	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,0	
Systemeffektfaktor kjøling:	3,70	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	24,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	37	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,60	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,60	
Driftstid oppvarming (timer)	12,0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	12,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	12,0	
Driftstid belysning (timer)	12,0	
Driftstid utstyr (timer)	12,0	
Oppholdstid personer (timer)	12,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	4,00	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	4,00	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	6,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	6,00	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	0,80	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	4,00	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,17	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:	0,75	

Inndata energiforsyning	
Beskrivelse	Verdi
1a Direkte el.	Systemvirkningsgrad: 1,00 Kjølefaktor: 1,00 Energipris: 0,80 kr/kWh CO2-utslipp: 395 g/kWh Andel romoppvarming: 0,0% Andel oppv, tappevann: 0,0% Andel varmebatteri: 0,0 % Andel kjølebatteri: 0,0 % Andel romkjøling: 0,0 % Andel el, spesifikt: 100,0 %
4 Fjernvarme	Systemvirkningsgrad: 0,86 Kjølefaktor: 1,00 Energipris: 0,75 kr/kWh CO2-utslipp: 231 g/kWh Andel romoppvarming: 0,0% Andel oppv, tappevann: 40,0% Andel varmebatteri: 0,0 % Andel kjølebatteri: 0,0 % Andel romkjøling: 0,0 % Andel el, spesifikt: 0,0 %
1b El. Varmepumpe	Systemvirkningsgrad: 3,70 Kjølefaktor: 3,70 Energipris: 0,80 kr/kWh CO2-utslipp: 395 g/kWh Andel romoppvarming: 100,0% Andel oppv, tappevann: 60,0% Andel varmebatteri: 100,0 % Andel kjølebatteri: 100,0 % Andel romkjøling: 100,0 % Andel el, spesifikt: 0,0 %

Vedlegg 8 – Levetidsvurderinger

Bygningsdel/gruppe	Levetid	Kilde	Kommentar/vurdering
Bygningsmessige konstruksjoner (bæresystem og fundament)	90	(Internatioanal Standard, 2011)	Antatt omtrentlig verdi, gir en restlevetid på 60 år. Setter rammene for byggets totale levetid (= teknisk levetid).
Taktekking	25	(Byggforsk, 2010)	Inngår i referanseverdi. Av nyere standard uavhengig av konsept ettersom det ble tekktet i 2008.
Isolasjon	40	(Novakovic, et al., 2007)	Inngår i referanseverdi. Antas å gjelde også for konsept 2, der isolasjonen byttes ut i sin helhet ettersom det likevel vil være behov for utskiftning i løpet av restlevetiden.
Bindingsverk av tre	60	(Byggforsk, 2010)	Inngår ikke i referanseverdi. Har en levetid utover referanseperioden på 60 år, slik at eventuelle utskiftninger er tenkt utført i etterkant av denne. God stand på dagens bindingsverk, og forbedret ytre fasade tilsier at bindingsverket kan ha en levetid på lengre enn oppgitte verdi. Antar at bindingsverket ikke faller under akseptert ytelsesnivå i løpet av restlevetiden.
Vegger mot terreng (utbedring)	40	(Byggforsk, 2010)	Inngår i referanseverdi. Antas å gjelde for samtlige konsepter, uavhengig om dette utbedres i forbindelse med oppgraderingen ettersom det uansett vil være behov for utbedring i løpet av restlevetiden.
Vinduer generelt	30	(Novakovic, et al., 2007)	Inngår i referanseverdi.
Aluminiumsvinduer	40	(Byggforsk, 2010)	Antas å gjelde også glassfasade med aluminiumsprofiler.
Utvendig solavskjerming (persienner)	8-16	(Incit AB, 2010)	Utover referanseverdi. Inngår ikke i standard konsept. Legger inn ekstra kostander til utskiftning etter 15 år for konsept 1 og 2.
Innvendig solavskjerming (persienner)	8-16	(Incit AB, 2010)	Utover referanseverdi. Inngår ikke i standard konsept. Legger inn ekstra kostander til utskiftning etter 15 år for konsept 1 og 2.

Varmegjenvinner	10-15	(Novakovic, et al., 2007)	Inngår i referanseverdi.
Ventilasjonskanaler	30	(Novakovic, et al., 2007)	Inngår i referanseverdi.
Belysning	20	(Novakovic, et al., 2007)	Inngår i referanseverdi
Automatikk/ overvåkning (SD-anlegg)	15	(Novakovic, et al., 2007)	Inngår i referanseverdi. Ser bort ifra eventuelle forskjeller i utskiftingskostnader avhengig av standarden på benyttet utstyr i de forskjellige konseptene.
Varmepumpe	15	(Novakovic, et al., 2007)	Utover referanseverdi. Ikke en del av kostandene ved standard oppgradering. Antar noe økning i vedlikeholdskostnader, samt tillegg for utskiftning etter 15 år. Vedlikehold og service av varmepumper utgjør gjerne 2.5-5 % av investeringskostnaden for selve varmepumpen (Statsbygg, 2003).
Vannrør (sentralt anlegg for oppvarming og kjøling)	45	(Statens Bygningstekniske Etat, 2007)	Inngår i referanseverdien. Anbefalte brukstid for denne typen komponenter er gjerne noe lavere enn den tekniske levetiden (Byggforsk, 2003). Dette skyldes økt risiko for svikt og betydelige konsekvenser dersom svikt oppstår. Systemet består i dag av røis i rustfritt stål, disse har en teknisk levetid på opp til 75 år og en anbefalt brukstid på 40 år. Velger her å legge meg et sted mellom disse verdiene (Byggforsk, 2003).
Radiatorer	40	(Novakovic, et al., 2007)	Inngår i referanseverdi.
Varmeveksler fjernvarme	25	(Novakovic, et al., 2007)	Inngår i referanseverdi. Denne komponenten beholdes i samtlige konsepter ettersom alle skal benytte fjernvarme i større eller mindre grad.
Kjøleblaffer i tak	30	(Incit AB, 2010)	Inngår i referanseverdi.
Varmtvannsbereder	15	(Novakovic, et al., 2007)	Inngår i referanseverdi.
Solcellepanel	30	(SunPower, 2012)	Delvis utover referanseverdi. Krever lite ekstra vedlikehold, kun årlige inspeksjoner (Halvorsen, et al., 2011). Dette antas å inngå i referanseverdi. Behov for utskifting etter 30 år, men dette er utenfor oppgavens analyseperiode.

Kilder:

- Byggforsk, 2003. *BKS 700.330 - Levetider for sanitærinstallasjoner i boliger*, Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Byggforsk, 2010. *BKS 700.320 Del II - Intervaller for vedlikehold og utskifting av bygningsdeler*, Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Halvorsen, U. M. et al., 2011. *Mulighetsstudie - Solenergi i Norge*, Oslo: KanEnergi og SINTEF Byggforsk.
- Incit AB, 2010. *REPAB Fakta Vedlikeholdskostnader2011*. 2. utgave. Mölndal, Sverige: Incit AB.
- International Standard, 2011. *ISO 15686-1 - Buildings and construction assets - Service life planning - Part 1: General principles and framework*, Geneva, Switzerland: International Standard.
- Novakovic, V. et al., 2007. *ENØK I BYGNINGER Effektiv energibruk*. 3. utg. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag.
- Statens Bygningstekniske Etat, 2007. *Energi. Temaveiledning*, Oslo: Statens Bygningstekniske Etat.
- Statsbygg, 2003. *Varmepumpeveileder*. [Internett]
- Tilgjengelig fra: <http://www.statsbygg.no/varmepumpeveileder/varmepumpe.htm#trettent21>
[Fullet 29. 5. 2012].
- SunPower, 2012. *SunPower® T5 Solar Roof Tile: Simple Installation & Greatest Solar Energy Output*. [Internett]
- Tilgjengelig fra: <http://us.sunpowercorp.com/small-medium-business/products-services/rooftop-solar-systems/T5/>
[Fullet 16. 5. 2012].

Vedlegg 9 – Kontoplanoversikt

Kontoplan i henhold til NS 3453		Kommentare, antagelser, forutsetninger etc.
Post/Konto	Aktiviteter/kostnadsarter i henhold til NS 3454	
1 Kapitalkostnader		
10 (Ledig)	-	
11 Prosjektkostnader	Se egen oppstilling etter NS 3453	Beregnes separat for hvert konsept i detalj
12 Restkostnad	Nåverdi av kostnader til riving/salg av bygningen ved endt analyseperiode.	Antar samme restverdi etter analyseperioden på 25 år for alle konseptene. Antatt lik 45 % av den tekniske verdien til nytt kontorbygg.
19 Diverse	-	
2 Forvaltningskostnader		
20 (Ledig)	-	
21 Skatter og avgifter	<ul style="list-style-type: none"> • Eiendomsskatt • Kommunale avgifter (Vann- og kloakkavgift, renovasjonsavgift, feieravgift) <p>Avfallshåndtering inngår ikke.</p>	Det er ingen eiendomsskatt i Bærum kommune per dags dato. Vann og kloakkavgift inngår i post 34.
22 Forsikringer	<ul style="list-style-type: none"> • Brannforsikring • Innbruddsforsikring <p>Innboforsikring i næringsareal og avbruddsforsikring inngår ikke.</p>	Erfaringstall fra Multiconsult. 0,2 % av prosjektkostnader årlig (Listerud, 2012).
23 Administrasjon	<ul style="list-style-type: none"> • Lønnskostnader eget administrativt personell • Administrasjon av leieforhold • Internkontroll • Utarbeidelse av dokumentasjon eget personell • Honorar til eksterne konsulenter • Forvaltning av EDB-basert FDVU-system • Forretningsførsel • Husleie for FDVU-avdelingen 	Erfaringstall fra Multiconsult (Listerud, 2012). 40 Kr/m ² BTA årlig

30	Diverse	-	
3	Driftskostnader		
30	(Ledig)	-	
31	Løpende drift	<ul style="list-style-type: none"> • Lønnskostnader for driftspersonell • Utstyr, rekvisita og enkle reservedeler • Smøring av hengsler • Justering og regulering av ventilasjons- og kjøleanlegg • Brannvern • Kostnader til service-avtaler • Ikke planlagte arbeider for å rette opp uforutsette skader/mangler 	Erfaringstall fra Multiconsult (Listerud, 2012). 140 kr/m ² BTA årlig
32	Renhold	<ul style="list-style-type: none"> • Lønnskostnaders renholdspersonell • Verktøy/utstyr • Driftskostnader maskiner • Anskaffelse av maskiner • Døglig renhold • Periodisk renhold • Hovedrengjøring • Vindusvask • Fasadevask <p>Inkluderer ikke utendørsanlegg (snømåking, feiing etc.)</p>	Erfaringstall fra Multiconsult (Listerud, 2012). 130 kr/m ² BTA årlig
33	Energi	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrisk strøm • Fjernvarme • Fjernkjøling 	<p>Avregnes etter årlig forbruk og pris på energien.</p> <p>Elektrisitetspris: 91,97 øre/kWh + MVA</p> <p>Priser fra Bærum fjernvarme AS (Fortum, 2011):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fjernvarme TV1: 52,5 øre/kWh + 550 kr/kW + MVA • Fjernkjøling TK1: 54,5 øre/kWh + 625 kr/kW + MVA
34	Vann og avløp	<ul style="list-style-type: none"> • Vannforbruk • Avløp • Vannmåler 	<p>Årlig forbruk vann og avløp: 8 010 m³ på hele Kjørbo1 (blikk 1-6), samt felle vannmåler (Iversen, 2012). Andel som tilskrives blokk 5 (eksklusiv fellesarealer) er 14 % (Møller, 2009).</p>

			<p>Priser for Bærum kommune 2012 (Bærum Kommune, 2010) (inkludert MVA):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Årsgebyr for vann: 13,75 kr/m³ • Årsgebyr for avløp: 13,75 kr/m³ • Vannmålerleie: 1875 kr/år <p>(Alle store bygg må ha dette)</p>	<p>Dette gir et årlig forbruk av vann og avløp på 1121,5 m³.</p>
35	Avfallshåndtering	<ul style="list-style-type: none"> • Drift av renovasjonsanlegg i bygningen • Henting • Bortkjøring • Tømming • Deponiavgift • Kildesortering 	<p>Erfaringstall fra Multiconsult (Listerud, 2012).</p> <p>20 kr/m² BTA årlig</p>	
36	Vakt og sikring	<ul style="list-style-type: none"> • Vakthold utenom resepsjonstjenesten i normal arbeidstid • Skallsikring av bygget og drift av adgangskontrollanlegg • Produksjon av adgangskort. Inkluderer ikke brannalarm. 	<p>Erfaringstall fra Multiconsult (Listerud, 2012). Basert på casebyggets nærhet til både brann og politistasjon.</p> <p>25 kr/m² BTA årlig</p>	
37	Utendørs	<ul style="list-style-type: none"> • Snømåking og feiing/drift av utendørsanlegg • Gartnerarbeid • Drift av tekniske uteanlegg 	<p>Inkluderes ikke ettersom denne kostnaden deles på samtlige bygninger på området og er vanskelig å fordele. I tillegg kan det ansees for å være utenfor selve bygningen og dermed utenfor beregningsrammene.</p>	
39	Diverse	-		
4	Vedlikeholdskostnader			
40	(Ledig)	-		

1	Planlagt vedlikehold	Regelmessige tiltak for å opprettholde bygningsmessige og teknisk standard.	Referanseverdi for vedlikehold- og utskiftningskostnader benyttes som utgangspunkt. Referanseverdi er basert på erfaringstall fra Multiconsult (Listerud, 2012). Referanseverdien gjelder konsept for standard oppgradering.
42	Utskiftninger	Gjelder komponenter som har kortere levetid enn betraktningssperioden.	120 kr/m ² BTA årlig
47	Utendørs	Planlagt vedlikehold/utskiftning av overflater på veier, plasser, parkeringsareal og andre utendørs installasjoner, utskiftning av planter og trær	Det gjøres spesielle vurderinger knyttet til de viktigste forskjellene mellom standard oppgradering og øvrige konsepter.
49	Diverse	-	Samme som for post 37.
5	Utviklingskostnader	<ul style="list-style-type: none"> • Løpende ombygging • Offentlige krav og pålegg • Oppgradering 	Inkluderes ikke i beregningene ettersom det kun sees på 25år (frem til behov for ombygging/utbedring)

Prosjektkostnader i henhold til NS 3454	
Post/Konto	Kommentarer, antagelser og kilde
1	<p>Felleskostnader</p> <p>Inkluderer rigg og drift av byggeplassen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Riggning omfatter alle kostnadene til etablering av driftsmidlene på byggeplassen • Drift omfatter alle utgifter knyttet til drift og vedlikehold av riggen, lagre, produserende anlegg og transportanlegg, dette inkluderer rydding, kildesortering av avfall og avfallshåndtering med deponering (Holte, 2010). <p>Erfaringsmessig består denne av 12-15 % av huskostnadene (post 2-6) ved nybygg. Ved ombyggingsprosjekter er det mer rigging per omsatt krone, slik at denne prosenten må ligge noe høyere (15-20 %) (Bruland, 2012). Benytter 18 % av post 1-6.</p>

2	Bygning	Post 2-7 er delt opp i bygningsdeler etter NS3451. Benyttet elementprismetoden med priser på elementer og delytelser fra Kalkulasjonsnøkkelen (HKN), Norsk Prisbok (NPB) og REPAB boken. I tillegg til priser fra aktuelle leverandører. Kalkulerte priser er basert på beskrivelsen av tiltak og beregnede mengder. Elementer er kodet etter NS 3420, elementnavn eller REPAB kode avhengig av kilde og spesifikasjonsnivå. Rivekostnader er oppstilt sammen men bygningskomponentene det skal erstattes med.
3	VVS	
4	Elkraftinstallasjoner	
5	Tele- og automatisering	
6	Andre installasjoner	
7	Utendørs arbeid	
8	Generelle kostnader	
80	Program og prosjektering	
		Erfaringstall fra Multiconsult for oppgraderingsprosjekter lik 15 % av alle elementer som skal skiftes ut (Listerud, 2012). Benyttes her 15 % av huskostnadene (post 1-6).
81	Administrasjon	Tar utgangspunkt i nøkkeltall fra HolteProsjekt Budsjett for kontorbygg med normal standard (Holte AS, 2012). Antar 1,8 % av entreprisekostnad (post 1-7).
82	Bikostnader	Tar utgangspunkt i nøkkeltall fra HolteProsjekt Budsjett for kontorbygg med normal standard (Holte AS, 2012). Antar 0,9 % av entreprisekostnad (post 1-7).
83	Forsikringer og gebyrer	Tar utgangspunkt i nøkkeltall fra HolteProsjekt Budsjett for kontorbygg med normal standard (Holte AS, 2012). Antar 2,0 % av entreprisekostnad (post 1-7).
9	Spesielle kostnader	
90	Inventar og utstyr	Inngår ikke i oppgraderingsprosjektet
91	Tomt	Gjelder ikke oppgraderingsprosjekt
92	Finansieringskostnader	Ser bort i fra dette
93	Salgskostnader	Gjelder ikke. Eiendommen skal leies ut, leietaker er fastsatt

Kilder:

- Bruland, A., 2012. *Personlig meddelelse vedrørende erfaringstall rigg og drift* (4. 5. 2012).
- Bærum Kommune, 2010. *Vann og avløpsgebyrer*. [Internett]
Tilgjengelig fra: <https://www.baerum.kommune.no/Documents/Vann%20og%20avløp/publikasjoner/Prisliste%202012.pdf>
[Funnet 11. 5. 2012].
- Fortum, 2011. *Pris for fjernvarme reduseres fra 1. november 2011*.. [Internett]
Tilgjengelig fra: <http://www.barum-fjernvarme.no/>
[Funnet 16. 5. 2012].
- Holte AS, 2012. *HolteProsjekt Budsjett*, Oslo: Holte AS.
- Holte, E., 2010. *Kalkulasjonsnøkkelen*. 28. utgave. Darmmen: Holte Byggsafe.
- Iversen, P., 2012. *Personlig meddelelse over mail angående FDV-kostnader Kjørbo*. Sandvika: Driftsansvarlig i Entra Eiendom.
- Listerud, C., 2012b. *FDV-nøkkeltall, Personlig meddelelse over telefon bekreftet på mail* (3. 5. 2012b).
- Møller, T. B., 2009. *Oppmåling og arealfordeling av kjørbo 1, Blokk 1-6, Bærum (Intern rapport for Entra Eiendom AS)*, Oslo: OPAK.

Vedlegg 10 – Mengdeberegninger

Bygningsdel	Verdi	Enhet	Kommentar
Generelt	Regner kvadratisk bygg. Ingen hjørnevindu, antar disse tre erstattet med ett stort vindu per flate.		
	Totalt 3 kontoretasjer + kjeller		
Dekketykkelse	0,20	m	
Indre etasjehøyde	3,10	m	OK-UK dekke
Ytre lengde bygg	25,30	m	Gjelder kontoretasjene
Indre lengde bygg	24,80	m	Gjelder kontoretasjene
Vinduer	Dimensjon 2,2x1,3m. Omkrets på 7 m		
Antall	113	stk	
Totalt vindusareal	323,18	m ²	Inkludert karm
Karmareal	74,58	m ²	10 cm karm rundt samtlige vinduer, totalt 0,66 m ² /vindu
Glassareal	248,60	m ²	Antar eksisterende glasstykkelse: 2x4mm. Ny glasstykkelse: 8/4/6mm for aluminiumsvinduer og 14mm for trevinduer
Glassfasade	Fasaden består av glassareal over og under vindusfelt mellom dekker. Dimensjon 2.mxl,5m fordelt over og under vinduer. Mellom glassfelt er det aluminiumprofiler. Antar eksisterende glasstykkelse: 2x5mm. Ny glasstykkelse 4/12/6mm (Norconsult, 2010).		
Antall felt	113	stk	
Totalt glassareal	339,00	m ²	
Areal aluminiumfasade			
Fasadehøyde kontoretasjer	0,10	m	Gjelder kontoretasjer
Ytre omkrets fasade	01,20	m	
Brutto fasadeareal	1 022,12	m ²	Aluminiumfasade, inkludert glass og vindusfelt rundt hele bygget. Ikke korrigert for areal mot felles- og trapperom
Areal mot felles og trapperom	48,48	m ²	Areal som tilgrenser trapperom/fellesrom inkluderes ikke ettersom det er innervegger. Bredde lik 4,8 m
Netto fasadeareal	73,64	m ²	Inkludert vindusfelt
Netto aluminiumareal	311,46	m ²	Netto fasadeareal fratrukket areal som er dekket av glassfelt og vinduer. Antar 1,42 m aluminiumprofil per m ² fasadeareal
Ytre lengde fundament	100,00	m	Antar går kontinuerlig rundt byggenes omkrets. Mindre enn for kontoretasjene ettersom bygget skrår noe innover i overgang til fundament.
BRA oppvarmet areal			
BRA oppvarmet areal per kontoretasje	618,29	m ²	

Kontoretasjer	1 854,87	m ²	
Kjelleretasjer	582,00	m ²	
Totalt BRA oppvarmet areal	2 438	m²	
BTA			
BTA kontoretasjer (3etg)	1 920,27	m ²	
BTA kjeller	625,00	m ²	
Totalt BTA	2 545,27	m ²	
BYA (grunnflate)	640,09	m²	
Bindingsverk/isolasjon yttervegg eksisterende bygg			
Bak fasade i kontoretasjer (mellom dekker)	573,34	m ²	Neglisjerer den lille isolasjonsmengden ved overgangen mellom fundament og fasade. Forenkler og antar at bindingsverket får kontinuerlig forbi betongsøyler i ytterkonstruksjonen. I virkeligheten går betongsøyler delvis ut i bindingsverket. Areal tilsvarer netto fasadeareal fratrukket dekker og vindu m/karm.
Kuldebroyter	20,24	m ²	Foran dekkekanter. Er 8 mm tykk i eksisterende bygg
Sviller (heltre)	58,29	m ²	Sviller over og under dekker, samt over og under vinduer (4stk pr etasje). Dimensjon 48 mm
Areal stenderverk med mineralull	457,83	m ²	Stenderdimensjoner på 48 mm og c/c 600 gir arealandel stendere på 8 %. Felthøyde stenderverk (fratrukket vinduer med karm og sviller) lik 1,508m. Bredde lik indre byggmål. Lagt sammen for 3 etasjer. Neglisjert det lille stenderarealet mellom vinduer.
Stendere (heltre)	36,63	m ²	8 % av stenderverkareal
Trevirke	94,92	m ²	Lagt sammen stendere og sviller. Bredde lik 148 mm.
Mineralull bindingsverk	421,20	m ²	148 mm i eksisterende bindingsverk
Gesims/takkonstruksjon			
Eksisterende bygg			
Skråstag (tre)	0,72	m ³	Gesims går kontinuerlig rundt bygget Basert på fasadetegninger
Mineralull over dekkkant	5,95	m ³	Dimensjoner: 148X48, L: 0,6m, Avstand: 0,6m. Totalt antall stendere: 168,67 stk
Toppsvill (tre)	0,70	m ³	Ligger 0,4m inn over dekket, Tykkelse: 150mm. Lengde er satt til indre omkrets (noe overestimert). Neglisjerer eventuell svinn fra avkapp ved skråstendere
Vertikal stender (tre)	0,72	m ³	Dimensjoner: 48x148. Lengde satt til indre mål.
Total lengde gesimskonstruksjon eksisterende	97,40	m	Dimensjoner: 148X48, L: 0,45m, Avstand: 0,6m. Totalt antall stendere: 165,33 stk Bygd opp av stenderverk og isolasjon. Ytre lengde aluminiumfasade med fratrukket inntrukket lengde lik 0,45m i hver ende.

Takareal (innenfor ny gesims)	614,84	m ²	Antar en gesimstykkelse på 400 mm, og at denne skal stå i flukt med yttervegg. Per i dag er den noe mer inntrukket. Bruker her indre fasademål
Konsept 1			Basert på BKS 525.207, figur 632 (Byggforsk, 2007)
Volum gesims	24,29	m ³	Treverk og mineralull
Høyde	0,6	M	Jfr. Konseptbeskrivelse (Overøye, 2012)
Bredde	0,4	M	Jfr. Konseptbeskrivelse (Overøye, 2012)
Lengde	101,20	M	
Svill i topp	0,0096	m ²	
Svill i bunn	0,0192	m ²	
Volum svill	2,91	m ³	Treverk
Antall stendere	168,67	stk	c/c 60
Volum per stender	0,0097	m ³	Høyde gesims fratrukket sviller i topp og bunn
Totalt volum stendere	1,63	m ³	Treverk
Totalt volum treverk	4,55	m ³	Stendere og sviller
Mineralull	19,74	m ³	Totalt volum bindingsverk fratrukket treverkandel
Glass	60,72	m ²	Fasadeglass føres opp til underkant gesimsbeslag
Konsept 2			Basert på BKS 525.207, figur 632 (Byggforsk, 2007)
Volum gesims	28,34	m ³	Treverk og mineralull
Høyde	0,7	m	Jfr. Konseptbeskrivelse (Overøye, 2012)
Bredde	0,4	m	Jfr. Konseptbeskrivelse (Overøye, 2012)
Lengde	101,20	m	
Svill i topp	0,0096	m ²	
Svill i bunn	0,0192	m ²	
Volum svill	2,91	m ³	Treverk
Antall stendere	168,67	stk	c/c 60
Volum per stender	0,0116	m ³	Høyde gesims fratrukket sviller i topp og bunn
Totalt volum stendere	1,96	m ³	Treverk
Totalt volum treverk	4,87	m ³	Stendere og sviller
Mineralull	23,47	m ³	Totalt volum bindingsverk fratrukket treverkandel
Glass	70,84	m ²	Fasadeglass føres opp til underkant gesimsbeslag

Tekniske installasjoner			
Belysning	Antatte verdier basert på tegninger og eksisterende effekter		
Møterom	14 stk		83,5 m ²
1.etg	6 stk	1.etg	37,5 m ²
2.etg	8 stk	2.etg	46 m ²
3.etg	- stk	Ingen møterom i 3 etasje	0 m ²
Korridorer	Antar per i dag 1stk downlights per 2 meter korridor.		
Totalt antall	24 stk	Totalt korridorareal.	148,3 m ²
1.etg	8 stk	1.etg	46,0 m ²
2.etg	6 stk	2.etg	31,9 m ²
3.etg	10 stk	3.etg	70,4 m ²
Kontor/kontorlandskap	Basert på dagens effektivnivå og antatt effekt per lysrør antas det å være 30 doble lysrørrarmaturer i 1 etasje (0,068 stk/m ²)		
Totalt antall	90 stk	Totalt kontorareal	1336 m ²
1.etg	30 stk	1.etg	442 m ²
2.etg	32 stk	2.etg	476 m ²
3.etg	28 stk	3.etg	418 m ²
Cellekontor	2 doble i store kontorer, og 1 i hvert lite kontor		
Totalt antall	9 stk	Totalt areal	80,5 m ²
1.etg	3 stk	1. etg (3 små)	21,5 m ²
2.etg	1 stk	2. etg (1 stort)	10,8 m ²
3.etg	5 stk	3. etg (1 stort + 3 små)	48,2 m ²

Kilder:

Byggforsk, 2007. *BKS 525.207 - Kompakte tak*, Oslo: SINTEF Byggforsk.

Norconsult, 2010. *Norsk Prisbok 2010*. Oslo: Norconsult Informasjonssystemer AS.

Overøye, C. S., 2012. *Oppgradering av kontorbygg til plusshus - Caseanalyse av Kjørbo*, Trondheim: Masteroppgave, NTNU.

	Sum Forvaltningskostnader (F)									1 891 815,49	743,35	121 098,82	47,58
3	Driftskostnader												
30	(Ledig)									-	-	-	-
31	Løpende drift	Erfaringstall fra Multiconsult.	140	kr/m ² BTA	356 300,00	kr/år			5 566 147,08	2 187,09	356 300,00	140,00	
32	Renhold	Erfaringstall fra Multiconsult.	130	kr/m ² BTA	330 850,00	kr/år			5 168 565,15	2 030,87	330 850,00	130,00	
33	Energi												
331		Elektrisitet	1,1496	kr/kWh	249 670,13	kr/år			3 900 366,70	1 532,56	249 670,13	98,10	
332		Fjernvarme - energiledd	0,6563	kr/kWh	93 337,13	kr/år			1 458 120,03	572,94	93 337,13	36,67	
333		Fjernvarme - effektledd	687,50	kr/kW	55 312,13	kr/år			864 090,44	339,52	55 312,13	21,73	
334		Fjernkjøling - energiledd	0,6813	kr/kWh	68 957,49	kr/år			1 077 259,38	423,28	68 957,49	27,10	
335		Fjernkjøling - effektledd	781,25	kr/kW	57 140,63	kr/år			892 655,41	350,75	57 140,63	22,45	
34	Vann og avløp												
341		Vann og avløpsavgift	13,75	kr/m ³	15 419,25	kr/år			240 880,76	94,65	15 419,25	6,06	
342		Vannmåler	262,50	kr	262,50	kr/år			4 100,80	1,61	262,50	0,10	
35	Avfallshåndtering	Erfaringstall fra Multiconsult.	20	kr/m ² BTA	50 900,00	kr/år			795 163,87	312,44	50 900,00	20,00	
36	Vakt og sikring	Erfaringstall fra Multiconsult.	25	kr/m ² BTA	63 625,00	kr/år			993 954,84	390,55	63 625,00	25,00	
37	Utendørs	Inkluderes ikke							-	-	-	-	
39	Diverse								-	-	-	-	
	Sum Driftskostnader (D)								20 961 304,45	8 236,27	1 341 774,24	527,22	
4	Vedlikeholdskostnader												
40	(Ledig)												
41	Planlagt vedlikehold	Erfaringstall fra Multiconsult. Referanseverdi, inkluderer også utskiftninger.	120	kr/m ² BTA	305 400,00	kr/år			4 770 983,21	1 874,65	305 400,00	120,00	
42	Utskiftninger	Inngår i post 41							-	-	-	-	
47	Utendørs	Inkluderes ikke							-	-	-	-	
49	Diverse								-	-	-	-	
	Sum Vedlikeholdskostnader (V)								4 770 983,21	1 874,65	305 400,00	120,00	
	Analyseperiodekostnad	Sum 1-4							36 896 737,30	14 497,74	2 361 832,57	928,03	

Prosjektkostnader – Standard oppgradering										
Kontonr./kode	Navn	Kilde	Kommentar	Mengde	Enhetspris	Enhet	Pris før justering	Markedsfaktor	Pris u/MVA	Pris m/MVA
0	Ledig									
	Sikkerhetsmarginer		Inngår ikke							
1	Felleskostnader	AB	Antar 18 % av post 2-6 (u/mva)	1	983 755,46	RS	983 755,46	-	983 755,46	1 229 694,32
2	Bygning									
21	Grunn og fundamenter									
210	Grunn og fundamenter, generelt									
GU7	Fiberduk	NPB	Antas 2,5 m pr lm fundament.	250,00	25,60	m ²	6 400,00	1,1025	7 056,00	8 820,00
212	Drenering									
FB2	Avtaking av vekstjord	NPB	t = 25 cm, i en bredde på 1,5 m ut fra fundamenter	37,50	21,20	m ²	795,00	1,1025	876,49	1 095,61
FD1.13110	Graving < 100m3	HPK	Graves i en bredde på 1,5 m rundt bygget, i en dybde på 2,65 m.	397,50	56,65	m ³	22 518,38	1,2000	27 022,05	33 777,56
UB2.321237	Drenering med drenerør PVC + pukkk	HPK	Benytter kun delytelsens arbeidskostnad ettersom opprinnelig drenerør benyttes.	100,00	42,39	m	4 239,00	1,2000	5 086,80	6 358,50
FS4.3200222	Igjenfylling med eksisterende masser	HPK	Eksisterende masser antas å være drenerende	397,50	86,66	m ³	34 447,35	1,2000	41 336,82	51 671,03
FS4.3237222	Igjenfylling av vekstjord	HPK		37,50	94,20	m ³	3 532,50	1,2000	4 239,00	5 298,75
KB4.121	Tilslåing	HPK	Tilslåing i en bredde på 1,5 m	150,00	40,66	m ²	6 099,00	1,2000	7 318,80	9 148,50
22	Primære bygningsdeler									
221	Gulv på grunn		Legges oppå eksisterende gulvkonstruksjon jfr. konseptbeskrivelse, antar ingen kostnader knyttet til riving							
SB1.221041	Polystyren, EPS, 150 kPa	HPK	Tilleggsisolasjon, 50 mm	582,00	163,05	m ²	94 895,10	1,2000	113 874,12	142 342,65
LG1.1731211	Betong B30 i påstøp på gulv	HPK	Dimensjon 50 mm	582,00	441,83	m ²	257 145,06	1,2000	308 574,07	385 717,59
222	Vegger mot grunn		Vegger under terrengnivå							
SB1.221040	Isolasjon, Polysteren, EPS, 150 kPa, 100 mm	HPK	Isolasjonshøyde på 2,9 m	290,00	163,05	m ²	47 284,50	1,2000	56 741,40	70 926,75

SF1.432	Grunnmurplate av plast (Platon)	NPB	Benyttes som kostnadsmessig erstatning for knasteplast, legges utenpå isolasjon.	290,00	98,30	m ²	28 507,00	1,1025	31 428,97	39 286,21
225	Yttervegger									
CD4.12235	Rive gipsplate, GU	NPB	Inkludert opplasting og bortkjøring. Antar at 40 % må rives (av eksisterende gipsplater som ligger utenpå bindingsverk)	573,34	85,89	m ²	29 546,50	1,1025	32 575,02	40 718,78
QK1.113	Utlektning 48x48 mm c/c 600	NPB	Benyttter gitt enhetspris med dobbel materialkostnad ettersom det skal utføres 100 mm. Utføring føres forbi dekkkanter	593,58	195,00	m ²	115 748,10	1,1025	127 612,28	159 515,35
SB1. 11141	Isolasjon i klimavegg, mineralull, t = 100 mm, klass 37	NPB	Legges utenpå eksisterende bindingsverk, og antas å føres opp forbi dekkkanter	441,54	94,40	m ²	41 681,38	1,1025	45 953,72	57 442,15
QK5. 211222	Gipsplate GU vindsperre, ny	NPB	t=9mm, skal dekke der det ikke benyttes eksisterende gipsplate	229,34	128,20	m ²	29 400,88	1,1025	32 414,46	40 518,08
QK5. 211422	Montere eksisterende gipsplater, GU vindsperre	NPB	Benyttter kun elementets arbeidskostnad. Utgjør 40 % av eksisterende gipsplater	344,00	76,10	m ²	26 178,70	1,1025	28 862,02	36 077,53
23	Sekundære bygningsdeler utvendig									
231	Utvendig komplettering, vegg									
CD4.1	Riving av vinduer og glasspartier	NPB	Inkludert opplasting og bortkjøring. Antar at denne gjelder for fasaden som helhet, inkludert aluminiumprofilene som vindu- og glassystem henger i.	973,64	86,20	m ²	83 927,77	1,1025	92 530,36	115 662,96
2.3.G.003	Glassfelt etasjehøyde, aluminium og glass, uten solavskjerming	NPB	Inkluderer aluminiumprofiler, tilslutning til tak, vegger og gulv, isolerruter med normal solavskjerming og U-verdi = 1,1-1.4, og merknad for sikkerhetsglass	650,46	2 679,30	m ²	1 742 777,48	1,1025	1 921 412,17	2 401 765,21
233	Vinduer									

RJ1. 11600210	Vinduer tre	NPB	Åpningsbare, u-verdi <1,2. Tre lag glass, T=14mm.	323,18	3 974,10	m ²	1 284 349,64	1,1025	1 415 995,48	1 769 994,34
SF3.1228	Tetnings skjøter	HPK	Rundt vinduer. m/polyuretan inkludert bunnfylling.	791,00	57,90	lm	45 798,90	1,2000	54 958,68	68 698,35
3	VVS									
36	Luftbehandling									
362	Kanalnett for luftbehandling									
57025	Rensing av ventilasjonskanaler	REPAB	Antar FT-system	2 545,27	16,00	m ² BTA	40 724,32	1,1025	44 898,56	56 123,20
365	Utstyr for luftbehandling									
-	Nytt ventilasjonssystem	Randem & Hüberrt AS	Inkluderer installasjon av nytt aggregat, lydfeller og kanalavlutninger, automatikk og elektrikerkostnader	1	580 000,00	RS	580 000,00	1,0000	580 000,00	725 000,00
4	Elkraftinstallasjoner									
	Ingen elkräftinstallasjoner inngår som del av standard oppgradering.									
44	Lys									
442	Belysningsutstyr									
CD4.1	Riving av EI- tele	NPB	Inkludert opplastning og bortkjøring. Beregnes for arealer som skal bytte ut lysarmatur	231,80	43,40	m ²	10 060,12	1,1025	11 091,28	13 864,10
4.4.2.0140	Lysrørmatur normal standard	NPB	Komplett med montering	38,00	1 852,60	stk	429 432,68	1,1025	473 449,53	591 811,91
5	Tele- og automatisering									
	Inngår ikke i standard oppgradering									
6	Andre installasjoner									
	Inngår ikke i standard oppgradering									
	Sum post 2-6 (Huskostnad)								5 465 308,09	6 831 635,11
7	Utendørs arbeid									
	Inngår ikke i standard oppgradering									
	Sum post 1-7 (Entreprisekostnad)								6 449 063,54	8 061 329,43
8	Generelle kostnader									

80	Program og prosjektering				Basert på erfaringstall fra Multiconsult. Antar 15 % av huskostnaden (post 2-6)	1	967 359,53	RS	967 359,53	-	967 359,53	1 209 199,41
81	Administrasjon				Antar 1,8 % av entreprisekostnaden (post 1-7)	1	116 083,14	RS	116 083,14	-	116 083,14	145 103,93
82	Bikostnader				Antar 0,9 % av entreprisekostnaden (post 1-7)	1	58 041,57	RS	58 041,57	-	58 041,57	72 551,96
83	Forsikringer og gebyrer				Antar 2,0 % av entreprisekostnaden (post 1-7)	1	128 981,27	RS	128 981,27	-	128 981,27	161 226,59
9	Spesielle kostnader											
90	Inventar og utstyr				Inngår ikke i oppgraderingsprosjektet						-	-
91	Tomt				Gjelder ikke oppgraderingsprosjekt						-	-
92	Finansieringskostnader				Ser bort ifra dette						-	-
93	Salgskostnader				Gjelder ikke. Eiendommen skal leies ut, leietaker er fastsatt						-	-
	Sum Prosjektkostnader (post 1-9)										7 719 529,06	9 649 411,32

211222	ny									ikke benyttes eksisterende gipsplate									
QK5. 211422	Montere eksisterende gipsplater, GU vindspærre	NPB			344,00	76,10	m ²	26 178,70	1,1025	28 862,02									36 077,53
227	Takkonstruksjoner																		
3.261.31.2	Rive eksisterende parapet	HPK			43,83	180,36	m ²	7 905,18	1,2000	9 486,21									11 857,77
2.6.A.027	Gesims båndtekket	NPB			101,20	1 688,60	m	170 886,32	1,1025	188 402,17									235 502,71
RJ	Aluminiumprofiler for glassfasader faste felt	NPB			60,72	1 433,90	m ²	87 066,41	1,1025	95 990,71									119 988,39
RF1.29	Isoleruter, normal solavskjerming	NPB			60,72	880,70	m ²	53 476,10	1,1025	58 957,40									73 696,76
R	Tilslutning til vegger	NPB			60,72	46,00	m ²	2 793,12	1,1025	3 079,41									3 849,27
23	Sekundære bygningsdeler utvendig																		
231	Utvendig komplettering, vegg																		
CD4.1	Riving av vinduer og glasspartier	NPB			973,64	86,20	m ²	83 927,77	1,1025	92 530,36									115 662,96
2.3.G.003	Glassfelt etasjehøye, aluminium og glass, uten solavskjerming	NPB			650,46	2 679,30	m ²	1 742 777,48	1,1025	1 921 412,17									2 401 765,21

83	Forsikringer og gebyrer		Antar 2,0 % av entreprisestkostnaden (post 1-7)	1	219 700,79	RS	219 700,79	219 700,79	274 625,99
9	Spesielle kostnader								
90	Inventar og utstyr		Inngår ikke i oppgraderingsprosjektet					-	-
91	Tomt		Gjelder ikke oppgraderingsprosjekt					-	-
92	Finansieringskostnader		Ser bort i fra dette,					-	-
93	Salgskostnader		Gjelder ikke. Eiendommen skal leies ut, leietaker er fastsatt					-	-
	Sum Prosjektkostnader (post 1-9)							11 640 976,84	14 551 221,05

Prosjektkostnader – Konsept 2										
Kontonr./kode	Navn	Kilde	Kommentar	Mengde	Enhetspris	Enhet	Pris før justering	Markedsfaktor	Pris u/MVA	Pris m/MVA
0	Prosjektkostnader									
	Ledig									
	Sikkerhetsmarginer		Inkluderes ikke							
1	Felleskostnader	AB	Antar 18 % av post 2-6 (u/mva)	1	1 998 217,34	RS	1 998 217,34	1,0000	1 998 217,34	2 497 771,67
2	Bygning									
21	Grunn og fundamenter									
GU7	Fiberduk	NPB	Ingen graving Antas 2,5 m pr lm fundament.	250,00	25,60	m ²	6 400,00	1,1025	7 056,00	8 820,00
212	Drenering									
FB2	Avtaking av vekstjord	NPB	t = 25 cm, i en bredde på 1,5 m ut fra fundamenter	37,50	21,20	m ²	795,00	1,1025	876,49	1 095,61
FD1. 13110	Graving < 100m3	HPK	Graves i en bredde på 1,5 m rundt bygget, i en dybde på 2,65 m.	397,50	56,65	m ³	22 518,38	1,2000	27 022,05	33 777,56
UB2. 321237	Drenering med drenerør PVC + pukk	HPK	Benyttet kun delytelsens arbeidskostnad ettersom opprinnelig drenerør benyttes.	100,00	42,39	m	4 239,00	1,2000	5 086,80	6 358,50
FS4. 3200222	Igjenfylling med eksisterende masser	HPK	Eksisterende masser antas å være drenerende	397,50	86,66	m ³	34 447,35	1,2000	41 336,82	51 671,03
FS4. 3237222	Igjenfylling av vekstjord	HPK		37,50	94,20	m ³	3 532,50	1,2000	4 239,00	5 298,75
KB4.121	Tilsåing	HPK	Tilsåing i en bredde på 1,5 m	150,00	40,66	m ²	6 099,00	1,2000	7 318,80	9 148,50
22	Primære bygningsdeler									
221	Gulv på grunn									
			Legges oppå eksisterende gulvkonstruksjon jfr. Konseptbeskrivelse (ingen kostnader knyttet til riving)							
SB1. 221041	Polystyren, EPS, 150 kPa	HPK	Tilleggsisolasjon, 50 mm	582,00	163,05	m ²	94 895,10	1,2000	113 874,12	142 342,65
LG1. 1731211	Betong B30 i påstøp på gulv	HPK	Dimensjon 50 mm	582,00	441,83	m ²	257 145,06	1,2000	308 574,07	385 717,59
222	Vegger mot grunn									
			Vegger under terrengnivå							
SB1.	Isolasjon, Polysteren, EPS,	HPK	Isolasjonshøyde på 2,9 m,	290,00	163,05	m ²	47 284,50	1,2000	56 741,40	70 926,75

RF1.29	Isoleruter, normal solavskjerming	NPB	Tilsvarende som for glassfasade for øvrig. Høyde: 0,6 m over dekkekant, i forkant av hele gesimskonstruksjonen	70,84	880,70 m ²	62 388,79	1,1025	68 783,64	85 979,55
R	Tilslutning til vegger	NPB	Glass antas å føres opp til topp av gesims.	70,84	46,00 m ²	3 258,64	1,1025	3 592,65	4 490,81
23	Sekundære bygningsdeler utvendig								
231	Utvendig komplettering, vegg								
CD4.1	Riving av vinduer og glasspartier	NPB	Inkludert opplasting og bortkjøring. Antar at denne gjelder for fasaden som helhet.	973,64	86,20 m ²	83 927,77	1,1025	92 530,36	115 662,96
2.3.G.003	Glassfelt etasjehøyde, aluminium og glass, uten solavskjerming	NPB	Benyttet dette elementet over og under vindusfelt.	650,46	2 679,30 m ²	742 777,48	1,1025	1 921 412,17	2 401 765,21
232	Taktekking og membraner								
SBI.321.141	Taktekkingsplater EPS	HPK	Kun priser for dimensjon inntil 200 mm. Justerer materialkostnad for faktiske dimensjon, antar uendret tidsbruk	614,84	493,83 m ²	303 626,44	1,2000	364 351,72	455 439,66
SF1.5222	Taktekking, 1-lags folie	NPB		614,84	212,00 m ²	130 346,08	1,1025	143 706,55	179 633,19
SF1.581	Oppbrett på tekking	NPB		97,40	205,50 m	20 015,70	1,1025	22 067,31	27 584,14
SF1.584	Tilslutning til sluk på tak (tekking)	NPB	Antall basert på bilder fra befarings. Inkluderer tilslutning til samtlige utstikkere	18,00	706,50 stk	12 717,00	1,1025	14 020,49	17 525,62
233	Vinduer								
RJ1.11600691	Vinduer, aluminium	NPB	Faste, u-verdi = 0,7. Antar representativ tross noe høyere U-verdi enn beskrevet	323,18	4 830,50 m ²	561 120,99	1,1025	1 721 135,89	2 151 419,86
SF3.1228	Tetnings skjøter	HPK	Rundt vinduer. m/polyuretan inkludert bunnfylling	791,00	57,90 lm	45 798,90	1,2000	54 958,68	68 698,35
237	Utvendig solavskjerming								
RJ7.1222.363	Solavskjerming utvendig, persienn, med kasse, motorstyrte	NPB	Utvendige persienn på fasade mot sørvest og sørøst. Gjelder 59 vinduer.	168,74	746,40 m ²	125 947,54	1,1025	138 857,16	173 571,45

RJ7.1	Værstasjon for styring av solskjerming	NPB	Antar at det trengs en værstasjon per fasade med utvendige persiener.	2,00	26 656,10	stk	53 312,20	1,1025	58 776,70	73 470,88
24	Sekundære bygningsdeler innvendig									
246	Innvendig sol- og lysavskjerming									
RJ7.23	Solavskjerming innvendig, utenpåliggende persiener	NPB	Med snortrekk, dim 50 mm. Gjelder 54 vinduer, kun innvendig glassareal	154,44	507,30	m ²	78 347,41	1,1025	86 378,02	107 972,53
3	VVS									
32	Varme									
320	Varme, generelt									
-	Varmepumpe	ABK Klima AS	Komplett sjøvann- varmepumpe installasjon. Nytt system som kobles på eksisterende sentralvarmesystem og varmtvannstank.	1	265 000,00	RS	265 000,00	1,0000	265 000,00	331 250,00
-	Brønnpark	ABK Klima AS	Med akkumulatortank, forvarming varmtvann og utvidet styring (også ute kompensert)	1	900 000,00	RS	900 000,00	1,0000	900 000,00	1 125 000,00
-	Elektriker- og rørleggerarbeider	ABK Klima AS	Komplett, ført til teknisk rom (yttervegg)	1	435 000,00	RS	435 000,00	1,0000	435 000,00	543 750,00
36	Luftbehandling									
362	Kanalnett for luftbehandling									
57025	Rensing av ventilasjonskanaler	REPAB	Antar FT-system	2 545,27	16,00	m ² BTA	40 724,32	1,1025	44 898,56	56 123,20
365	Utstyr for luftbehandling									
-	Nytt ventilasjonssystem	Randem & Hübert AS	Inkluderer installasjon av nytt aggregat, lydfeller og kanalavslutninger, automatikk og elektrikerkostnader	1	420 000,00	RS	420 000,00	1,0000	420 000,00	525 000,00
37	Komfortkjøling		Inkludert i varmepumpe.				-		-	-
379	Annen komfortkjøling		Antar at frakobling av fjernkjøling inngår i installasjonen av							

Vedlikeholdskostnader utover referanseverdi										
Kontonr./kode	Navn	Kilde	Kommentar	Mengde	Enhetspris	Enhet	Pris før justering	Markedsfaktor	Pris u/MVA	Pris m/MVA
237	Utvendig solavskjerming									
22721	Demontere eksisterende persiennner	REPAB	Benyttter kun halve arbeidskostnaden siden montasje inngår i kostnaden av nye persiennner.	168,74	225,00	m ²	37 966,50	1,1025	41 858,07	52 322,58
RJ7.1222363	Solavskjerming utvendig, persiennner, med kasse (motorstyrte)	NPB	Utvendige persiennner på fasade mot sørvest og sørøst	168,74	746,40	m ²	125 947,54	1,1025	138 857,16	173 571,45
246	Innvendig sol- og lysavskjerming									
34924	Utskifting persiennner	REPAB	Benyttter kun halve arbeidskostnaden siden montasje inngår i kostnaden av nye persiennner.	154,44	87,00	m ²	13 436,28	1,1025	14 813,50	18 516,87
RJ7.23	Solavskjerming innvendig, utenpåliggende persiennner	NPB	Med snortrekk, dim 50 mm. Gjelder 54 vinduer, kun glassareal	154,44	507,30	m ²	78 347,41	1,1025	86 378,02	107 972,53
	SUM skifte persiennner									352 383,43
320	Varmer, generelt									
-	Ny varmepumpe	ABK Klima AS	Kun selve varmepumpen skiftes ut. Antas å koste det samme som i prosjektkostnader	1	265 000,00	RS	265 000,00	1,0000	265 000,00	331 250,00
	Elektriker- og rørleggerarbeider	ABK Klima AS	Antar samme som ved oppgraderingen	1	435 000,00	RS	435 000,00	1,0000	435 000,00	543 750,00
	SUM kostnader - skifte sjøvann varmepumpe									875 000,00
-	Vedlikehold varmepumpe		Inkluderer også service. Antar 4 % av investeringskostnad for selve varmepumpen	-	-	-				13 250,00

Kilder:

LCC poster: Se vedlegg 9 – "Kontoplanoversikt"

Prosjektkostnader:

AB – Bruland, A., 2012. *Personlig meddelelse vedrørende erfaringstall rigg og drift* (4.5.2012)

HPK – Holte AS, 2012. *HolteProsjekt Kalkulasjonsnøkkel*. Oslo: Holte AS

NPB – Norconsult, 2010. *Norsk prisbok 2012*. Oslo: Norconsult Informasjonssystemer AS

REPAB – Incit AB. 2010. *REPAB Fakta Vedlikeholdskostnader 2011*. 2. utgave Mölndal, Sverige: Incit AB

Randem & Hübner AS – Nilsen, M., 2012. *Budsjettpriser for installasjon av nytt ventilasjonsanlegg på mail fra klimaentreprenør* (29.5.2012)

REC – Moen, L., 2012. *Informasjon om investeringskostnader for solceller på mail fra REC Group* (18.5.2012)

ABK Klima AS – Arnesen, C., 2012. *Budsjettpriser for installasjon av sjøvann-varmepumpe på mail fra ABK Klima AS*(29.5.2012)

Vedlegg 12 – Innlagte materialmengder i materialmodulen

Kode	Navn	Standard	Konsept 1	Konsept 2
2-0	Basismaterialer			
2-0-1-2	Tre	-	Treverk konstruksjon i ny gesims. Antar furu med egenvekt = 700kg/m ³ . H=0,6m. V=4,547 m ³	Treverk konstruksjon i ny gesims. Antar furu med egenvekt = 700kg/m ³ . H=0,7m. V=4,871 m ³
2-0-1-10	Aluminium - innvendige persiener	-	Innvendige persiener, 50mm lameller, t=0,3mm, 30 % overlapp. A=168,74m ² , egenvekt aluminium = 0,0027kg/m ³	Innvendige persiener, 50mm lameller, t=0,3mm, 30 % overlapp. A=168,74m ² , egenvekt aluminium = 0,0027kg/m ³
2-0-1-10	Aluminium - utvendige persiener	-	Utvendige persiener, 80mm lameller, t=0,5mm, 30 % overlapp, A=168,74m ² , egenvekt aluminium = 0,0027kg/m ³	Utvendige persiener, 80mm lameller, t=0,5mm, 30 % overlapp, A=168,74m ² , egenvekt aluminium = 0,0027kg/m ³
2-0-3-1	Glass	-	Glass føres opp til underkant gesimsbeslag, fortsettelse av glassfasade. Egenvekt= 2500kg/m ³ . T=22mm. A=60,72 m ²	Glass føres opp til underkant gesimsbeslag, fortsettelse av glassfasade. Egenvekt= 2500kg/m ³ . T=22mm. A=70,84 m ²
2-1	Bæresystemer		Inngår ikke i oppgraderingen, beholder eksisterende bæresystem i betong	
2-2	Grunn og fundamenter			
2-2-3-2	100 mm EPS på vegg mot terreng	290 m ²	-	290 m ²
2-2-3-2	EPS isolasjon på gulv, tykkelse 50 mm	582 m ²	-	582 m ²
2-2-3-3	Knasteplast	Plastfolie. T=0, 2mm. A=290 m ²	-	Plastfolie. T=0,2 mm. A=290 m ²
2-3	Yttervegger			
2-3-4-2	Bindingsverk av tre	-	-	Dimensjon: 36x(148+148) mm Tverrsnitt=0,010656 m ² Brutto areal=575,34m ²

2-3-4-3	Utforing i tre	Dimensjon: (48x98) mm Tverrsnitt=0,004702 m ² . A=94,92 m ²	Dimensjon: (36x48)+(36x98) mm. Tverrsnitt=0,005256 m ² . A=94,92 m ²	-
2-3-5-2	Isolasjon yttervegg, vanlig steinull	100 mm. A=(421,2+20,24)m ²	150 mm. A=(421,2+20,24)m ²	-
2-3-5-4	Isolasjon yttervegg, murplate, steinull	-	-	300 mm. A=(421,2+20,24)m ²
2-3-5-6	Dampsperre	-	-	Dampsperre på innsiden av nytt bindingsverk. T=0,015 mm
2-3-5-7	Gipsplater GU	229,34 m ² nye plater	299,34 m ² nye plater	573,34 m ² nye plater
2-3-7-1	Vinduer av tre	Nye vinduer med en treandel på 0,2 %, glasstykkelse= 14 mm. Tretykkelse (karm)=250 mm A=opprinnelig vindusareal	-	-
2-3-7-3	Vinduer av aluminium - åpningsbare:	-	Nye vinduer åpningsbare, 3lag glass 8/4/6. A=opprinnelig vindusareal	-
2-3-7-2	Vinduer av aluminium - faste	-	-	Nye vinduer faste, 3lag glass: 8/4/6. A=opprinnelig vindusareal
2-3-7-4	Aluminiumprofiler for glassfasader - faste felt	Aluminiumprofiler mellom glassfelt over og under vindusfelt Antatt 1,42 m/m ² fasade. A=650,46m ²	Aluminiumprofiler mellom glassfelt over og under vindusfelt, samt foran gesims. Antatt 1,42 m/m ² fasade. A=711,18 m ²	Aluminiumprofiler mellom glassfelt over og under vindusfelt, samt foran gesims. Antatt 1,42 m/m ² fasade. A=721,3 m ²
2-3-7-6	Glass i glassfasader	Areal lik opprinnelig glassareal (ikke inkludert glassareal vinduer). T=22 mm	Areal lik opprinnelig glassareal (ikke inkludert glassareal vinduer). T=22 mm	Areal lik opprinnelig glassareal (ikke inkludert glassareal vinduer). T=22 mm
2-3-9-1	Innvendige gipsplater (13 mm)	-	-	573,34 m ² med 2x13 mm plater
2-4	Innervegger	Utover beregningsrammene		
2-5	Dekker			
2-5-6	Guiv på grunn, 50 mm betong påstøp	582 m ²	-	582 m ²

2-6	Yttertak					
2-6-4-2	Mineralull i ny gesims, steinull	-		V=19,741m ³ . A=49,35m ² . T=400 mm	V=23,465 m3. A=58,664 m ² . T=400 mm	
2-6-4-5	Tilleggsisolasjon EPS på tak	-		T=150 mm. Takareal = 614,84 m ²	T=250 mm. Takareal = 614,84 m ²	
2-6-6-13	Ny takfolie inkludert oppbrett	-		Antar 1,2 mm tykk folie. A=712,24 m ²	Antar 1,2 mm tykk folie. A=712,24 m ²	
2-6-7-8	Beslag - av sink	-		Beslag på topp av gesims, antar T=1mm. A=40,48 m ² .	Beslag på topp av gesims, antar T=1mm. A=40,48 m ² .	

Følgende elementer var ikke mulig å legge inn i KRG beregningene:

Fiberduk	250 m ²	-	250 m ²
Tetningssjikt med polyuretan rundt vinduer	791 lm	791 lm	791 lm
Belysning	Ja	Ja	Ja
Ventilasjonsaggregat	Ja	Ja	Ja
Sjøvann-varmepumpe	Nei	Ja	Ja
Solcellepanel	Nei	Ja	Ja

Vedlegg 13 – LCA-resultater fra Klimagassregnskap.no

	Standard oppgradering			Konsept 1		Konsept 2	
	Tonn CO ₂ -ekv/livsløp	Kg CO ₂ -ekv/m ² år	Tonn CO ₂ -ekv/livsløp	Kg CO ₂ -ekv/m ² år	Tonn CO ₂ -ekv/livsløp	Kg CO ₂ -ekv/m ² år	
Materialbruk - Prosjektert							
2-0 Basismaterialer	-	-	3	-	4	-	
2-1 Bæresystemer	-	-	-	-	-	-	
2-2 Grunn og fundamenter	1	-	-	-	1	-	
2-3 Yttervegger	107	0,7	299	2,0	239	1,6	
2-4 Innervegger	-	-	-	-	-	-	
2-5 Dekker	18	0,1	-	-	18	0,1	
2-6 Yttertak	-	-	16	0,1	25	0,2	
2-7 Trapper og balkonger	-	-	-	-	-	-	
2-8 Overflatebehandling	-	-	-	-	-	-	
Sum	126	0,80	318	2,1	287	1,9	
Stasjonær energi							
Elektrisitet	1 463	10,0	102	0,8	15	0,1	
Solceller (lokal)	-	-	-	-	-	-	
Fjernvarme	717	4,9	29	0,2	29	0,2	
Fjernkjøling	805	5,5	-	-	-	-	
Sum	2 985	20,4	131	0,9	44	0,3	
Transport							
Bil	2 192	15,2	2 192	15,2	2 192	15,2	
Kollektivtransport - buss	880	6,1	880	6,1	880	6,1	
Kollektivtransport - skinnegående	-	-	-	-	-	-	
Varetransport	-	-	-	-	-	-	
Sum	3 072	21,3	3 072	21,3	3 072	21,3	
Sum alle moduler	6 183,00	42,50	3 521,00	24,30	3 403,00	23,50	

Vedlegg 14 – Beregning av utslipp fra riveprosessen

Standard oppgradering							
Avfalls- fraksjon	Kommentar	Egenvekt	Mengde	Vekt	ReCiPe element	Karakterisering [kg CO2-ekv/kg]	Utslipp [kg CO2-ekv]
Gips							
Utvendige plater	Antar Norgips "GU 9" gipsplater. Kun 40 % av utvendige plater deponeres	7,2 kg/m ²	229,3 m ²	1 651,22 kg	Disposal, building, plaster board, gypsum, to final disposal/CH U	0,0133	21,96
Glass	Benyttet egenvekt fra EcoInvent databasen	2 500 kg/m ³					
Vinduer	Antar 2-lag, glasstykkelse 4mm	2 500 kg/m ³	1,99 m ³	14 916,00 kg	Disposal, building, glass sheet, to final disposal/CH U	0,01	149,16
Glassparti	Antar 2 lag, glasstykkelse 6mm	2 500 kg/m ³	4,07 m ³	30 510,00 kg	Disposal, building, glass sheet, to final disposal/CH U	0,01	305,10
Trevirke	Antar furu, og at samtlig treverk er ubehandlet.						
Vinduskarmer	Antar bredde lik bindingsverk	700 kg/m ³	11,04 m ³	7 726,49 kg	Disposal, wood untreated, 20 % water, to municipal incineration/CH U	0,0117	90,40
Sum				53 152,49 kg			566,62

Klimagassutslipp [kg CO2-ekv/m² BRA år]	0,0093
---	---------------

Konsept 1							
Avfalls- fraksjon	Kommentar	Egenvekt	Mengde	Vekt	ReCiPe element	Karakterisering [kg CO2-ekv/kg]	Utslipp [kg CO2-ekv]
Gips							
Utvendige plater	Antar Norgips "GU 9" gipsplater. Kun 40 % av utvendige plater deponeres	7,2 kg/m ²	229,34 m ²	1 651,22 kg	Disposal, building, plaster board, gypsum, to final disposal/CH U	0,0133	21,96
Glass	Benytter egenvekt fra Ecolnvent databasen						
Vinduer	Antar 2-lag, glasstykkelse 4mm	2 500 kg/m ³	1,99 m ³	14 916,00 kg	Disposal, building, glass sheet, to final disposal/CH U	0,01	149,16
Glassparti	Antar 2 lag, glasstykkelse 6mm	2 500 kg/m ³	4,07 m ³	30 510,00 kg	Disposal, building, glass sheet, to final disposal/CH U	0,01	305,10
Trevirke	Antar furu, og at samtlig treverk er ubehandlet.						
Vinduskarmer	Antar bredde lik bindingsverk	700 kg/m ³	11,04 m ³	7 726,49 kg	Disposal, wood untreated, 20 % water, to municipal incineration/CH U	0,0117	90,40
Gesims	Sviller, stendere og skråstag	700 kg/m ³	2,14 m ³	1 498,00 kg	Disposal, wood untreated, 20 % water, to municipal incineration/CH U	0,0117	17,53
Mineralull	Benytter egenvekt fra Ecolnvent databasen						
Gesims	Mineralull over dekkekant	50 kg/m ³	5,95 m ³	297,60 kg	Disposal, building, mineral wool, to final disposal/CH U	0,01	2,98
Sum				54 803,71 kg			587,12

Klimagassutslipp [kg CO2-ekv/m ² BRA år]	0,0096
---	--------

Konsept 2									
Avfalls- fraksjon	Kommentar	Egenvekt	Mengde	Vekt	ReCiPe element	Karakterisering [kg CO2-ekv/kg]	Utslipp [kg CO2-ekv]		
Gips									
Innvendige plater	Antar Norgips "Plank 13" gipsplater. Alle innvendige plater deponeres, to lag	9 kg/m ²	1 146,7m ³	10 320,12 kg	Disposal, building, plaster board, gypsum, to final disposal/CH U	0,0133	137,26		
Utvendige plater	Antar Norgips "GU 9" gipsplater. Alle utvendige plater deponeres	7,2 kg/m ²	573,34 m ³	4 128,05 kg	Disposal, building, plaster board, gypsum, to final disposal/CH U	0,0133	54,90		
Glass	Benyttet egenvekt fra EcoInvent databasen								
Vinduer	Antar 2-lag, glasstykkelse 4mm	2 500 kg/m ³	1,99 m ³	14 916,00 kg	Disposal, building, glass sheet, to final disposal/CH U	0,01	149,16		
Glassparti	Antar 2 lag, glasstykkelse 6 mm	2 500 kg/m ³	4,07 m ³	30 510,00 kg	Disposal, building, glass sheet, to final disposal/CH U	0,01	305,10		
Trevirke	Antar furu, og at samtlig treverk er ubehandlet.								
Vinduskarmer	Antar bredde lik bindingsverk	700 kg/m ³	11,04 m ³	7 726,49 kg	Disposal, wood untreated, 20 % water, to municipal incineration/CH U	0,0117	90,40		
Gesims	Swiller, stendere og skråstag	700 kg/m ³	2,14 m ³	1 498,00 kg	Disposal, wood untreated, 20 % water, to municipal incineration/CH U	0,0117	17,53		
Bindingsverk	Swiller og stendere i eksisterende konstruksjon	700 kg/m ³	14,05 m ³	9 833,71 kg	Disposal, wood untreated, 20 % water, to municipal incineration/CH U	0,0117	115,05		
Mineralull	Benyttet egenvekt fra EcoInvent databasen								
Gesims	Mineralull over dekkkant	50 kg/m ³	5,95 m ³	297,60 kg	Disposal, building, mineral wool, to final disposal/CH U	0,01	2,98		
Bindingsverk	148 mm i eksisterende bindingsverk	50 kg/m ³	62,34 m ³	3 116,90 kg	Disposal, building, mineral wool, to final disposal/CH U	0,01	31,17		

Kuldebro- bryter	8 mm foran dekkekanter	50 kg/m ³	0,16 m ³	8,10 kg	Disposal, building, mineral wool, to final disposal/CH U	0,01	0,08
Sum				57 280,54 kg			903,63

Klimagassutslipp [kg CO2-ekv/m2 BRA år]	0,0148
--	---------------