



Universitetet  
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

## MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Industriell økonomi/ Prosjektledelse	Vårsemesteret, 2011 Åpen
Forfatter: Mats Tobiassen	..... (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Tone Bruvoll Veileder: Tone Bruvoll	
Tittel på masteroppgaven: <b>Kostnadsvurdering ved kontorbygg i passivhusstandard</b> Engelsk tittel: <b>Cost evaluation of an office building in passive house standard</b>	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Passivhus Kontorbygg Simien Kostnadsvurdering	Sidetall: 61 + vedlegg: 15 + annet: 8  Stavanger, 27. juni 2011

Masteroppgave

2011

# Kostnadsvurdering ved kontorbygg i passivhusstandard



Mats Tobiassen

Institutt for Industriell Økonomi

Universitet i Stavanger

27.06.2011

## FORORD

Passivhus er et tema som det er veldig mye fokus på for tiden. Det er mange forskjellige meninger hva passivhus angår. Til nå har passivhus stort sett vært synonymt med energisparsommelige og kompakte bolighus. Det har ikke blitt gjennomført mange større prosjekter på næringsbygg innenfor passivhusstandarden. For å belyse temaet har jeg satt meg inn i muligheten for passivhus innenfor kategorien kontorbygg. Dette er et spennende område som garantert kommer til å bli et satsingsområde i de kommende årene.

Etter å ha vært i kontakt med Kruse Smith, viste det seg at de var i prosjekteringsfasen av et passivhusprosjekt i Stavanger. Dette er et kontorbygg som skal bygges i Jåttåvågen på Hinna. Jeg har fått innsyn i deres dokumenter og fått vært tilstede på deres prosjekteringsmøter. Med dette som utgangspunkt har jeg valgt å ta for meg kontorbygg i passivhusstandard. Ved hjelp av simuleringsprogrammet Simien og lønnsomhetsberegninger vil jeg finne ut om dette bygget kan bygges i passivhusstandard som et lønnsomt prosjekt.

Jeg vil derfor rette en stor takk til Kruse Smith AS og prosjekteringsleder Per Arne Primstad for innpass og støtte. En stor takk til Enerconsult AS i Narvik for å ha gitt meg kontorplass, Simien-tilgang og vært behjelpelig med spørsmål den tiden jeg var der. Takk til intervjuobjekt Torben Søråas, gruppeleder energirådgivning i Enerconsult AS. Jeg ønsker også å takke Tone Bruvoll for veiledning i oppgaveskrivingen. Avslutningsvis ønsker jeg å takke min samboer og mine foreldre for korrekturlesing av oppgaven og støtte under studiet.

## SAMMENDRAG

Den kraftige økningen av CO<sub>2</sub>-utslippet de siste tiårene har ført til massive klimaendringer. Samfunnet har et stort fokus på å få ned utslippene i årene fremover. Bygningers oppvarmingsbehov vil i tiden frem mot 2020 reduseres gjennom reviderte tekniske forskrifter med strengere krav til energibruk.

Selv om vi har begynt å få en del passivhus i Norge, er det fortsatt veldig få næringsbygg i passivhusstandard. Kruse Smith skal sette opp et kontorbygg i passivhusstandard bygd etter kravene i Prosjektrapport 42 og skal samtidig tilfredsstille energimerke A. Dette vil være et av de første kontorbyggene i Norge bygget i denne standarden.

Dynamiske beregninger utført i Simien gir kontorbyggets energiresultat og energibudsjett. Resultatene fra Simien er videre brukt i Enovas investeringskalkulator for å finne prosjektets internrente, nåverdi og inntjeningstid. Referanseprosjektet vil med støtte fra Enova bli et lønnsomt prosjekt med nåverdi på ca 700 000 kr, og tilbakebetalingstid på 17,1 år. Det er foreslått to ytterligere tiltak for å bedre prosjektets lønnsomhet. Første tiltak er å endre vinduenes u-verdi fra 0,63 til 0,8. Dette fører til lavere investeringsutgift, men samtidig litt høyere energikostnader. Alt i alt vil prosjektets nåverdi bedres med ca 80 000 kr. Tiltak 2 er å bytte den foreslåtte luft-vann varmpumpen med en bergvarmpumpe. Dette er et kostbart tiltak, og investeringsutgiften vil være betraktelig høyere. Bergvarmpumpen har imidlertid lengre holdbarhet og høyere systemvirkningsgrad. Selv med dette tatt i betraktning vil ikke bergvarmpumpen være mer lønnsom enn luft-vann varmpumpen. Det bør nevnes at med bergvarmpumpe vil behovet for ikke-fornybar energi reduseres, noe som vil føre til grønt energimerke.

Det er vurdert om det er mulig å bygge et arkitektonisk særegent kontorbygg i passivhusstandard med energimerke A som et lønnsomt prosjekt. Konklusjonen er at uten støtte fra Enova vil ikke dette være mulig i dag. Forskning tilsier at utviklingen av systemer og komponenter vil redusere kostnadene. Bygningskomponentene vil bli standardiserte og systemene vil bli mer effektive. Merkostnaden vil reduseres ytterligere når flere bygg er satt opp og kompetansen i byggenæringen har blitt bedre.

# INNHALDSFORTEGNELSE

<b>FORORD .....</b>	<b>III</b>
<b>SAMMENDRAG.....</b>	<b>IV</b>
<b>TABELL- OG FIGURLISTE .....</b>	<b>VII</b>
<b>INNLEDNING.....</b>	<b>1</b>
<b>DEL 1 METODER.....</b>	<b>4</b>
1.1    KVALITATIV METODE .....	4
1.2    KVALITATIVT INTERVJU.....	4
1.3    LITTERATURSØK OG KILDEBRUK.....	5
1.4    METODER FOR BEARBEIDELSE OG VURDERING AV DATA .....	6
1.4.1    Simien .....	6
1.4.2    Enovas Investeringskalkulator.....	8
<b>DEL 2 TEORI .....</b>	<b>9</b>
2.1    HVA ER BAKGRUNNEN TIL AT VI MÅ REDUSERE ENERGIBRUKEN? .....	9
2.2    POTENSIALET FOR ENERGIEFFEKTIVISERING I BYGNINGER I NORGE .....	10
2.2.1    ENERGIBRUK I YRKESBYGG .....	11
2.3    REGELVERK FOR BYGGING MED HENSYN PÅ ENERGIBRUK.....	12
2.3.1    Tekniske forskrifter til plan og bygningsloven -TEK10.....	12
2.3.2    Prosjektrapport 40 – Energieffektivisering i bygninger.....	13
2.3.3    Prosjektrapport 42 – Kriterier for passivhus- og lavenergibygg – Yrkesbygg.....	15
2.3.4    NS3031:2007 – Beregning av bygningers energiytelse – Metode og data.....	17
2.4    PASSIVHUS.....	18
2.5    INNEKLIMA.....	19
2.6    FORUTSETNINGER FOR ØKONOMISKE ANALYSER.....	20
2.7    ENOVASTØTTE .....	21
<b>DEL 3 REFERANSEPROSJEKT .....</b>	<b>24</b>
3.1    HINNA PARK .....	24
3.2    PROSJEKTBEKRIVELSE "TROLL" .....	25
3.3    BYGNINGSKONSTRUKSJON.....	26
3.3.1    Fasader .....	26
3.3.2    Vinduer .....	27

3.3.3	Gulv.....	27
3.3.4	Tak .....	27
3.3.5	Tetthet .....	28
3.3.6	Kuldebroer .....	28
3.4	ENERGIFORSYNING .....	29
3.4.1	Solfangere.....	29
3.4.2	Varmepumper.....	30
3.4.3	Fjernvarme.....	30
3.4.4	Ventilasjon .....	31
3.4.5	Kjøling .....	32
<b>DEL 4 RESULTATER .....</b>		<b>34</b>
4.1	ENERGIBEREGNINGER.....	34
4.1.1	Årssimulering.....	34
4.1.2	Energimerking.....	40
4.1.3	Passivhusevaluering.....	41
4.2	LØNNSOMHETSBEREGNINGER .....	42
4.3	LØNNSOMME TILTAK.....	43
4.3.1	Tiltak 1 – Øke u-verdien i vinduene til 0,8.....	43
4.3.2	Tiltak 2 – Bytte til Bergvarmepumpe.....	45
4.3.3	Sammenligning av Tiltak og løsninger .....	51
<b>DEL 5 DISKUSJON .....</b>		<b>51</b>
5.1	UTFORDRINGER MED PASSIVHUS I NORGE .....	52
5.2	FREMTIDSUTSIKTER.....	55
<b>KONKLUSJON.....</b>		<b>58</b>
<b>KILDER.....</b>		<b>60</b>
	PERSONER .....	60
	REFERANSER .....	60
<b>VEDLEGG .....</b>		<b>i</b>
	VEDLEGG A - FASADETEGNINGER .....	ii
	VEDLEGG B - NÅVERDI.....	v
	VEDLEGG C - INNDATA INVESTERINGSKALKULATOR (REFERANSEPROSJEKT) .....	vii
	VEDLEGG D – INNDATA SIMIEN .....	x
	VEDLEGG E – PRISTILBUD NORDAN VINDUER .....	xiv

## TABELL- OG FIGURLISTE

Tabell 2. 1	CO2-utslipp for byggenæringen [9].....	9
Figur 2. 1	Jordas globale middeltemperatur fra 1880 frem til 2010 [13] .....	10
Figur 2. 2	Energibruk i norske næringsbygg per år, 2001 – 2009 [17] .....	11
Tabell 2. 2	Anslåtte merkostnader for nybygg og rehabilitering [Kr/m <sup>2</sup> ] [19].....	14
Tabell 2. 3	Estimerte merkostnader for bygging til passivhusnivå for nye yrkesbygg [19].	15
Tabell 2. 4	Minstekrav til bygningsdeler, komponenter og lekkasjetall .....	16
Tabell 2. 5	Estimert netto energibehov og besparelse for nye kontorbygg i passivhusnivå	23
Figur 3. 1	Oversiktsbilde over Jåttåvågen og Hinna Park [30] .....	24
Figur 3. 2	Sør-vestre fasadetegning (Eder Biesel Arkitekter AS) .....	26
Figur 3. 3	Sammenheng mellom tetthetstall og veggisolasjonstykkelse [31].....	28
Figur 3. 4	Prinsippskisse av ventilasjonsanlegget med tilhørende komponenter [1].....	32
Figur 4. 1	Årlig energibudsjett (referanseprosjekt).....	34
Figur 4. 2	Beregnet levert energi til bygningen (referanseprosjekt) .....	35
Tabell 4. 1	Kostnad kjøpt energi (referanseprosjekt) .....	36
Tabell 4. 2	Årlige utslipp av CO <sub>2</sub> (referanseprosjekt) .....	36
Figur 4. 3	Månedlig netto energibehov (referanseprosjekt) .....	37
Figur 4. 4	Månedlig varmebalanse (referanseprosjekt).....	38
Figur 4. 5	Varmetapsbudsjett med varmetapstall (referanseprosjekt) .....	39
Figur 4. 6	Energimerke (referanseprosjekt) .....	40
Tabell 4. 3	Passivhusevaluering (referanseprosjekt) .....	41
Tabell 4. 4	Minstekrav enkeltkomponenter (referanseprosjekt) .....	41
Tabell 4. 5	Nøkkeltall lønnsomhetsanalyse (referanseprosjekt) .....	42
Figur 4. 7	Sensitivitetsanalyse (referanseprosjekt) .....	42
Figur 4. 8	Screenshot av u-verdiendring i Simien (tiltak 1) .....	43
Tabell 4. 6	Kostnad kjøpt energi (tiltak 1).....	44
Tabell 4. 7	Nøkkeltall lønnsomhetsanalyse (tiltak 1).....	45
Figur 4. 9	Sensitivitet Redusert elektrisitet (tiltak 1) .....	45
Figur 4. 11	Illustrasjon av bergvarmepumpe [41] .....	46
Figur 4. 10	Prosentvis energisparing ved ulike årsvarmefaktor [1] .....	46

---

Figur 4. 12	Screenshot fra Simien (endring varmepumpe) .....	47
Figur 4. 13	Energimerke (tiltak 2).....	48
Figur 4. 14	Levert energi til bygningen (tiltak 2) .....	49
Tabell 4. 8	Nøkkeltall lønnsomhetsanalyse (tiltak 2).....	50
Figur 4. 15	Sensitivitetsanalyse (tiltak 2).....	50
Tabell 4. 9	Sammenligning av tiltak og løsninger .....	51
Tabell 5. 1	Reduksjon av BRA i forhold til utnyttbart areal .....	55
Figur 5. 1	Forskriftskravenes utvikling mot nullenerginivå i 2027 .....	57
Figur B 1	Fasadetegning nord (Eder Biesel Arkitekter AS) .....	ii
Figur B 2	Fasadetegning nordøst (Eder Biesel Arkitekter AS).....	ii
Figur B 3	Fasadetegning sørøst (Eder Biesel Arkitekter AS).....	ii
Figur B 4	Fasadetegning sørvest (Eder Biesel Arkitekter AS).....	iii
Figur B 5	Snittegning 1. etg (Eder Biesel Arkitekter AS).....	iii
Figur B 6	Snittegning 5. etg (Eder Biesel Arkitekter AS).....	iv
Figur B 7	Snittegning 1-1 (Eder Biesel Arkitekter AS) .....	iv



## INNLEDNING

Økningen av CO<sub>2</sub> i atmosfæren er en viktig årsak til klimaendringer på jorden. I 1992 ble FNs klimakonvensjon dannet, et rammeverk for internasjonalt klimasamarbeid. Deltakerlandenes miljøvernministre møtes årlig for å forhandle frem nye klimaavtaler. Til nå er Kyotoprotokollen den mest betydningsfulle klimaavtalen. Denne avtalen gir de rike landene en tallfestet forpliktelse til å redusere sine utslipp.[2] For å få ned utslippene blir det forsket på CO<sub>2</sub>-håndtering, energieffektivisering og fornybar energi. Det er identifisert et betydelig potensial for energieffektivisering innen byggenæringen og primærnæringen. På bakgrunn av dette kommer lavenergiutvalget med følgende anbefaling:

***”Det bør settes et politisk mål på minimum 20 prosent reduksjon i spesifikk energibruk i industrien og primærnæringene utover generell teknologiutvikling innen utgangen av 2020. Dette tilsvarer ca 17 TWh basert på nåværende aktivitetsnivå. 5 prosent reduksjon bør oppnås innen utgangen av 2012 ved å gjennomføre enkle tiltak.”[3]***

I dag står bygninger for 40 % av energibruken i Norge. [4] For å redusere bygningers bidrag til energibruken fokuseres det på energieffektivisering i bygg. SINTEF mener det er mulig å realisere kostnadseffektive nullenergihus i Norge i løpet av 10 år. Dette vil kreve økt forskning på installasjoner og bygninger. Det har det siste tiåret vært økt fokus på energibesparende tiltak i byggenæringen. Kravene har blitt strengere. Tekniske forskrifter revideres stadig og krav om energibruk skjerpes inn fra TEK97 til TEK07 til TEK10. Det er blant annet innført krav om at 40 % av byggenes energibruk brukt til oppvarming skal komme fra fornybare energikilder alternativt til elektrisitet. Dette vil gi økte investeringsutgifter ved oppføring av nybygg, men vil også gi reduserte energitgifter for byggets bruker. Det er et mål at det skal lønne seg å velge miljøeffektive løsninger når en bygger. For å komme utbyggerne i møte er det satt opp støtteordninger for de som bygger passivhus og lavenergibygg. Enova ble etablert for å bidra til å styrke arbeidet med en miljøvennlig omlegging av energibruk og energiproduksjon i Norge.[5] Deres funksjon er å forvalte midlene fra Energifondet på en best mulig kostnadseffektiv måte. Med

hovedvirkemidlene, finansiering og rådgivning, støtter de miljøvennlige energiltak i henhold til objektive og transparente kriterier.

Det har etter hvert blitt bygget en del passivhus i Norge. Dette er mye takket være Enovas støtte til forprosjekt. I Norge fins det fortsatt lite kunnskap om næringsbygg i passivhusstandard. For å belyse dette temaet vil oppgaven fokusere på et byggeprosjekt Kruse Smith har i Stavanger. Kruse Smith har gitt meg innsyn i dokumentene deres og latt meg delta på prosjekteringsmøtene i forbindelse med et prosjekt som målrettet arbeider mot å bli et kontorbygg i passivhusstandard.

Problemstilling og fokusområde for oppgaven er å vurdere;

- Hvilke tiltak er gjort for å redusere energibruken i bygget
- Hvor mye energi som spares på grunn av tiltakene
- Alternative tiltak som vil redusere kostnadene i prosjektet
- Hvilke kostnadsfølger tiltakene medfører

Hensikten med analysen er, i tillegg til å belyse temaet, å finne ut om det kan være lønnsomt å bygge utradisjonelle kontorbygg i passivhusstandard.

For å gi et helhetlig bilde må man vurdere både den økonomiske, miljømessige, moralske og ressursmessige side når man skal se på gevinsten ved tiltakene som blir gjort. Det vil tjene både utbygger og kjøper å velge de mest kostnadseffektive tiltakene. I forhold til den samfunnsøkonomiske gevinsten må man gjøre en vurdering av kostnadene og energibruken fra hele materialets livsløp, fra prosessering av materialet, transport, drift og til riving/fjerning. I denne oppgaven vil jeg i hovedsak se på utbyggers/kjøpers kostnader og besparelser.

Opgaven er bygd opp av fem deler, hvorav første del forteller om hvilke metoder som er benyttet i arbeidet med oppgaven. Andre del er en teordel der det fokuseres på hvorfor det bygges passivhus. Klimaproblematikken med internasjonale og nasjonale klimamål er beskrevet. Deretter ses det på potensialet for energieffektivisering i yrkesbygg. I teordelen er det også beskrevet hva passivhus er, og regelverket for slike bygninger.

Tredje del beskriver referanseprosjektet. Her forklares og beskrives bygningskomponenter, tekniske løsninger og kilder for energiforsyning brukt i prosjektet. Del fire består av

resultatet av energiberegningene utført i Simien og resultatet av lønnsomhetsberegningene. I tillegg ses det på tiltak som vil gjøre prosjektet mer lønnsomt. Disse tiltakene er beskrevet teknisk og det er utført energiberegninger og økonomiske analyser.

I del fem har jeg diskutert hvordan status er nå i forhold til energieffektivisering og passivhus. Dagens og fremtidige utfordringer er belyst, og det er sett på hvordan utviklingen fremover forventes å bli. Etter de fem delene følger konklusjonen. Konklusjonen er grunnet i resultatene i oppgaven, og spørsmålene i problemstillingen skal besvares.

# DEL 1 METODER

## 1.1 KVALITATIV METODE

Denne oppgaven tar for seg et byggeprosjekt som undersøkes ned til detaljnivå. Innhentede opplysninger om referanseprosjektet er grundig studert, og bygningstekniske løsninger og energibesparende tiltak er beskrevet på en detaljert måte. Opplysningene benyttes videre til energisimuleringer og lønnsomhetsberegninger. Med dette begrensede utvalget og den detaljerte tilnærmingen, defineres den valgte metoden som en kvalitativ analyse. Kvalitativ analyse er en metodeform som danner sitt grunnlag i teorier og hypoteser, og har som mål å utvikle begreper. På grunn av at utvalget er spesielt, gir ikke resultatene et representativt bilde som kan generaliseres og benyttes i alle lignende tilfeller.[6] Man kan derimot utdype kvantitative funn og gi en bedre forståelse av årsakene bak dem ved bruk av kvalitativ metode.

Det er benyttet forskjellige verktøy og metoder for å innhente informasjon om prosjektet. I tillegg til tildelt dokumentasjon har datainnsamlingen foregått ved deltakende observasjon i prosjekteringsmøter, litteratursøk, samt ustrukturerte og halvstrukturerte intervjuer.

## 1.2 KVALITATIVT INTERVJU

Som kvalitative intervju er det i denne oppgaven benyttet ustrukturerte og halvstrukturerte intervjuer. I ustrukturerte intervjuer tilpasses spørsmålene den enkelte intervjusituasjon, og det er på forhånd gitt et tema. Spørsmålene legges frem slik at de kan besvares fritt.

Intervjuobjektet styres inn på de områdene der intervjuer ønsker mer utfyllende informasjon. Opplegget er meget fleksibelt, da både problemstillinger oppstår og analysen foregår underveis i intervjuet. Ustrukturerte intervjuer gir derfor en utfyllende innsikt i intervjuobjektets tanker, erfaringer og meninger om temaet. Dette var særlig en god metode i begynnelsen av arbeidet med oppgaven for å få en generell oversikt.

Halvstrukturerte intervju er en intervjuform der det foreligger en intervjuguide som utgangspunkt for intervjuet. Her varieres og tilpasses spørsmålsstilling, rekkefølge og tematisering i forhold til intervjusituasjonen. Halvstrukturerte intervju ble benyttet etter å

ha tilegnet seg basiskunnskap fra andre metoder. Målet med disse intervjuene var å skaffe detaljkunnskap om ulike komponenter.

Fordeler ved bruk av kvalitativ intervju er blant annet friheten intervjuobjektene får til å utdype sine tanker og meninger, samt muligheten for oppfølgingsspørsmål både fra intervjuer og intervjuobjekt. Kvalitative intervju kan være både tids- og ressurskrevende. Man må også passe på at ikke spørsmålene blir ledende, eller at intervjuobjektet ikke svarer ærlig på grunn av manglende anonymitet. Et eksempel på dette er hvis intervjuobjektet svarer strategisk riktig i forhold til firmaets visjon og policy på grunn av frykten for negativ konsekvens ved "feil" svar.[6]

Målet for kvalitative intervju er å få et omfattende bilde av informantens erfaringer, tanker og følelser. For å oppnå dette målet er det bra å oppmuntre intervjuobjektet til å beskrive hva han tenker og få frem hans synspunkter ved egne termer. Ved kvalitative intervjuer stilles det store krav til intervjuerens mestring av sosial interaksjon. Det bør resonneres på hvordan man påvirker intervjuobjektet.[6]

Intervjuene i denne oppgaven er gjort på tomannshold der det ble tatt notater av det som ble sagt, mest i stikkordsform. Resultatet fra intervjuene er brukt mest som en veiledning og eksperthjelp i forhold til hva som bør være fokusområdet i selve oppgaven og for å få svar på spesifikke spørsmål. Intervjuet er ikke skrevet ned i selve oppgaven, og det er heller ikke referert til intervjuobjektene. Personene som har blitt intervjuet står listet opp under kilder.

### **1.3 LITTERATURSØK OG KILDEBRUK**

For å kartlegge litteratur som er relevant for oppgaven er internettsøk og søkemotorene til studentbiblioteket ved Universitetet i Stavanger benyttet. Alle kildene er kritisk vurdert. Dette er gjort blant annet ved å sjekke opp faktaopplysningene i mot andre artikler og se om de samsvarer. Jeg har forsøkt å bruke mest mulig førstehåndsinformasjon, men har også brukt informasjon fra andre seriøse kilder. Kruse Smith har gitt meg tilgang til all prosjektinformasjon med tekniske inndataverdier og økonomiske vurderinger. Prosjektinformasjon, samt informasjon fra kvalitative intervju er ført opp uten kildehenvisning.

## 1.4 METODER FOR BEARBEIDELSE OG VURDERING AV DATA

Ved sammenligning av energibesparende løsninger har jeg brukt tilbudsdata fra Kruse Smith i tillegg til egne tilbud fra leverandører. Prisen for de forskjellige løsningene er cirka-priser og kan variere fra prosjekt til prosjekt. De er derfor ikke objekt for generalisering.

For å kunne gjøre nødvendige analyser og simuleringer har jeg måtte lære meg dimensjonerings- og simuleringsprogrammet, Simien. Dette programmet er godkjent og anbefalt av Sintef og Enova. Programmet er meget omfattende, og krever et detaljert informasjonsgrunnlag. For å benytte det er det nødvendig med dyp forståelse innenfor både bygningsteknologi og energiøkonomi. Det har derfor krevd uker med opplæring i programmet før beregningene og simuleringene kunne utføres på en fullstendig måte. Simien har gitt meg en dypere forståelse av bakgrunnen for de tiltakene som blir valgt i passivhus og lavenergibygg. Nå som energisparing og enøk-tiltak er et fokusområde i byggenæringen, vil kompetanse i Simien være fordelaktig.

### 1.4.1 SIMIEN

SIMIEN (SIMulering av Inneklima og ENergibruk i bygninger) er et windowsbasert beregningsprogram som utfører dynamiske simuleringer av bygningers tilstand.

Bruksområdet er evaluering mot byggeforskrifter, beregning av energibehov, energimerking, validering av inneklima og dimensjonering av ventilasjonsanlegg, oppvarmingsanlegg og romkjøling.

Bygningens tekniske data med arealer, u-verdier, driftstrategi, energikilde og effekt for installasjoner legges inn og man får resultatene ut i oversiktelige rapporter med tabeller og diagrammer. SIMIEN utfører simuleringer av tilstanden i bygninger etter den dynamiske beregningsmetoden beskrevet i NS3031:2007.[7]

Det er seks simuleringstyper:

#### ***DIMENSJONERENDE VINTERFORHOLD***

Simulering for å finne nødvendig effekt for varmebatterier i ventilasjonsanlegget og romoppvarming. Det simuleres 1-30 døgn i vinterhalvåret.

### ***DIMENSJONERENDE SOMMERFORHOLD***

Simuleringen kjøres for å validere inneklime ved dimensjonerende sommerforhold samt dimensjonering av ventilasjonsanlegg og romkjøling. Simulering av 1-30 døgn i sommerhalvåret.

### ***ÅRSSIMULERING***

For å beregne netto energibruk (energibehov) og levert energi til bygningen, simuleres det for et helt kalenderår. Man får også ut effekt oppvarming/kjøling og varighetskurver for temperatur. I denne oppgaven er årssimulering benyttet i stor grad for å finne dimensjonerende verdier for å kunne estimere kostnader.

### ***EVALUERING MOT FORSKRIFTER***

Bygningen blir evaluert og sammenlignet mot de reviderte byggeforskriftene (TEK07/TEK10). Det evalueres mot energiltak, energirammer og minstekrav.

### ***ENERGIMERKING***

Norges vassdrags - og energidirektorat er ansvarlig for energimerkeordningen. I beregningene som fører til Energimerket er NS3031 brukt som grunnlag. Energimerket beregnes på bakgrunn av oppgitte opplysninger om bygningen og typiske standardverdier for den aktuelle bygningstypen.[7]

Bygningen gis en karakter (A-G) etter beregnet levert energi. Fargekoden bygningen får blir beregnet ut fra andel el/olje/gass av netto energibehov. Resultatene kan lagres i en xml-fil som må lastes opp på [www.energimerking.no](http://www.energimerking.no) for å få en offisiell energiattest. [7]

Energimerking er obligatorisk for nybygg og for alle som skal selge eller leie ut boliger eller yrkesbygg. Yrkesbygg over 1000 kvadratmeter skal alltid ha gyldig energiattest. Det er byggets eier som står ansvarlig for at det blir gjennomført en energimerking. [8]

### ***PASSIVHUS/LAVENERGI***

Bygningen blir i denne simuleringen evaluert opp mot lavenergi/passivhuskriterier. Evalueringen bygger på NS3700 for boligbygninger og Prosjektrapport 42 for yrkesbygg.

### **1.4.2 ENOVAS INVESTERINGSKALKULATOR**

I denne oppgaven er Enovas investeringskalkulator benyttet for å finne nåverdi og internrente. Programmet er gratis å bruke, og ligger tilgjengelig på Enovas Søknads- og rapporteringssenter på internettsidene til Enova.

I investeringskalkulatoren må det legges inn investeringskostnader, økonomisk levetid, inntekter fra energileveranser, drifts- og vedlikeholdskostnader og finansiering. Med disse inndataene beregner programmet internrente, netto nåverdi med- og uten Enova-støtte, inntjeningstid og energieresultat. [9] Ved kalkuleringen er det lagt til grunn 15 år levetid for tekniske anlegg, og 30 år for bygningsmessige tiltak. Alle søknader om Enova-støtte krever en vedlagt økonomiberegning. Beregningen fra Investeringskalkulatoren er enkel i bruk, og er spesialtilpasset for dette formålet. Programmets hensikt er å fremskaffe et beslutningsgrunnlag for valg av energireduserende tiltak i bygg



## DEL 2 TEORI

### 2.1 HVA ER BAKGRUNNEN TIL AT VI MÅ REDUSERE ENERGIBRUKEN?

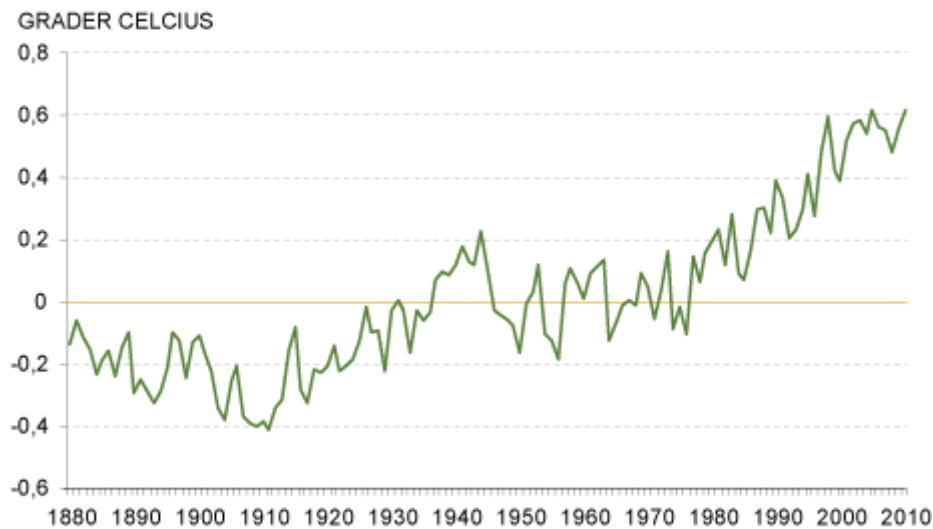
Det er mange gode grunner for at energiforbruket må reduseres, både globalt og lokalt. I Norge står transportsektoren, industri, og olje- og gassvirksomheten for de største CO<sub>2</sub>-utslippene. [10] Hvis ikke drastiske tiltak igangsettes, vil disse utslippene bare fortsette å øke i tiden fremover. CO<sub>2</sub>-utslippene fra byggenæringen kommer fra produksjon og transport av byggevarer, bygge- og anleggsvirksomhet og drift av bygninger. Beregninger utført av KanEnergi AS tilsier at byggsektoren sto for ca 13,5 % av Norges totale CO<sub>2</sub>-utslipp på 55,1 millioner tonn i 2006.[11] Fordelingen av disse utslippene er gitt i tabell 2.1.

**Tabell 2.1 CO<sub>2</sub>-utslipp for byggenæringen [9]**

	CO <sub>2ekv</sub> utslipp [mill tonn]	Rel andel [%]
Produksjon av byggevarer	3,85	7,0
Transport av byggevarer	0,54	1,0
Bygg og anleggsvirksomhet	0,67	1,2
Drift av bygninger	2,16	4,3
<b>SUM CO<sub>2ekv</sub>-utslipp fra byggsektoren</b>	<b>7,22</b>	<b>13,5</b>

CO<sub>2</sub>-utslippene fører til klimaendringer. Det er forventet at den globale middeltemperaturen på jorda vil øke mellom 1,1 og 6,4 grader Celsius frem til år 2100, og at havnivået vil stige mellom 18 og 59 cm. Dette vil være den største temperaturøkningen på 10 000 år.[12] Hvor hurtig økningen vil foregå avhenger blant annet av befolkningsvekst, forbruksmønster, energiforbruk og transportbruk.[13] Figur 2.1 viser hvordan jordas globale middeltemperatur har økt de siste 130 årene.

→ **Global middeltemperatur fra 1880 til 2010**  
Avvik fra normalen (1901-2000 °C)



KILDE: National Oceanic and Atmospheric Administration, 2011 / [www.miljøstatus.no](http://www.miljøstatus.no)

**Figur 2. 1 Jordas globale middeltemperatur fra 1880 frem til 2010 [13]**

En tendens er at både forbruk og transportbehov øker. Dette fører til at vi stadig bruker mer energi, spesielt fra kull, olje og gass. Hvis man ser på verdensbasis har økende forbruk og utslipp økt kraftig etter den industrielle revolusjonen, og spesielt de siste 50 årene.[12]

Globale klimaendringer gir alvorlige konsekvenser for miljø, helse og økonomi. Det vil oppstå mer ekstremvær enn tidligere. Økt havnivå vil føre til flom mange steder, noe som fører til tap av landareal. Sykdommer som malaria og tropfeber kan forflytte seg til nye områder. Spesielt vil utviklingslandene slite med å tilpasse seg disse miljøendringene, da de ikke har ressursene som skal til. Det kan fort oppstå økonomiske ringvirkninger.

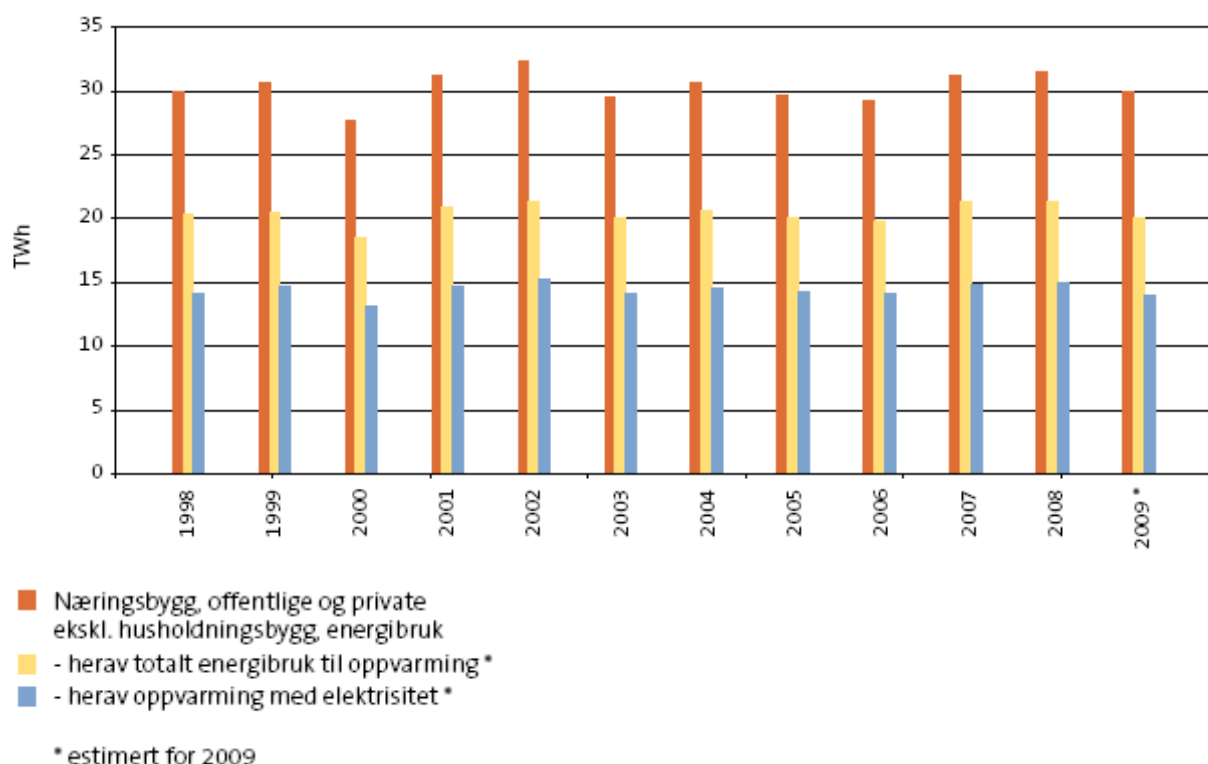
## 2.2 POTENSIALET FOR ENERGIEFFEKTIVISERING I BYGNINGER I NORGE

Det ligger et stort potensial for energieffektivisering i bygninger. Per i dag står bygningsmassen for en stor andel av innenlands energiforbruk. Byggenæringen står derfor sentralt i arbeidet med å redusere landets klimapåvirkning fra energibruk.[14] I forhold til utlandet ligger Norge godt an med tanke på regelverk for nybygg. Her er det norske regelverket blant de strengeste. For gjennomføring av enøk-tiltak for eksisterende bygg derimot, ligger Norge langt etter.[15]

## 2.2.1 ENERGIBRUK I YRKESBYGG

***”Energibruk til bygninger står for ca 40 % (82 TWh/år) av energibruken i Norge. Av dette bruker boliger 57 % (47 TWh/år).”[16]***

Av de 2493 bygningene som i 2009 rapporterte energibruk og samtidig tilfredsstiller minimumskravene til energirapportering består 98,3 % av oppvarmet areal av yrkesbygg. Samlet areal for yrkesbygg er 12,48 mill m<sup>2</sup> og disse bruker 3 052 GWh. Da det ikke finnes en fullstendig database med oversikt over areal for bestående bygninger i Norge, har Prognosesenteret utført beregninger som viser at total yrkesbyggmasse pr. 1.1.2010 utgjorde ca 130,5 mill m<sup>2</sup>. [17] Av dette er ca 15,3 mill m<sup>2</sup> kontorbygg i privat sektor. Figur 2.2 viser norske næringsbyggs totale energibehov, energi til oppvarming og oppvarming ved elektrisitet.



**Figur 2. 2** Energibruk i norske næringsbygg per år, 2001 – 2009 [17]

Man kan ikke se en stor endring på dette området. Forhåpentligvis vil alle søylene minke i fortsettelsen av tidsskalaen. For 2009 ble estimert samlet energibruk i yrkesmassen på ca 30 TWh. En positiv trend er at energibruken i yrkesbygg går ned fra 2008 til 2009, samtidig som

arealet øker. Selv om flere bygningskategorier har redusert energibruken, hadde kontorbygg en økning fra 2008 til 2009. [17] En gjennomsnittlig kontorbygning bruker ca 250 kWh/m<sup>2</sup>. Av dette stammer ca 200 kWh/m<sup>2</sup> fra elektrisitet og 45 kWh/m<sup>2</sup> fra fjernvarme. [17] Utviklingen på området og strengere forskriftskrav vil føre til at energibehovet reduseres. I fremtiden ventes det også at fornybar energi vil dekke en større del av energibehovet.

## **2.3 REGELVERK FOR BYGGING MED HENSYN PÅ ENERGIBRUK**

Det er flere forskrifter og standarder som må følges når det skal settes opp nye bygg. Under følger en grov beskrivelse av det viktigste regelverket som er benyttet i denne oppgaven.

### **2.3.1 TEKNISKE FORSKRIFTER TIL PLAN OG BYGNINGSLOVEN -TEK10**

Formålet med forskriften er å sikre at tiltak planlegges og utføres i henhold til kravene gitt i plan- og bygningsloven, herunder forskrifter og arealplaner. Forskriften setter krav til alle byggverk ut fra hensyn til god visuell kvalitet, universell utforming og slik at tiltaket oppfyller tekniske krav til helse, miljø, sikkerhet og energi. Kravene gjelder for alle tiltak, uavhengig om prosjektene krever saksbehandling i kommunen eller ikke.[18]

Forskriften inneholder generelle bestemmelser om dokumentasjon, krav til byggverk, sikkerhet ved ulykker, beregnings- og måleregler. Hele paragraf 14 i tillegg til paragraf 15-1, 15-2 og 15-4 er forskriftens viktigste punkter i forhold til denne oppgaven. Under paragraf 14 står det beskrevet krav til energi, energieffektivitet, energiltak, energirammer og energiforsyning. Paragraf 15 beskriver varme- og kuldeinstallasjoner som varmpumpe og kjøleanlegg.[18]

Etter at TEK10 trådte i kraft har det vært en ettårig overgangsperiode hvor tiltakshaver har hatt valgfriheten til å bruke TEK07 eller TEK10. Det presiseres at den tekniske forskriften som benyttes i overgangsperioden må benyttes konsekvent. Overgangsperioden er over den 1.7.2011 og det er TEK10 som vil gjelde frem til ny forskrift kommer ut.[18]

### 2.3.2 PROSJEKTRAPPORT 40 – ENERGIEFFEKTIVISERING I BYGNINGER

Prosjektrapport 40 er utarbeidet av SINTEF Byggforsk, Lavenergiprogrammet og representanter fra Byggenæringens Landsforening. Rapporten tar i hovedsak for seg energieffektiviseringspotensialet i perioden 2010 til 2020. Rapporten inneholder et forslag om at vi kan spare 12 TWh innen 2020. Norges klimagassutslipp kan reduseres med 6 millioner tonn. Dette utgjør bortimot 40 % av klimaforlikets målsetning om innenlands klimagassreduksjon innen 2020. Energieffektivisering er det enkleste og billigste tiltaket for et bedre klima, og energieffektivisering i byggsektoren vil trolig være avgjørende for å gjennomføre Norges forpliktelser beskrevet i fornybarhetsdirektivet og EUs bygningsenergidirektiv. [19]

I tillegg til samfunnsøkonomiske kostnader og -gevinster og rammebetingelser frem til 2020, inneholder rapporten estimater på merkostnader ved å bygge passivhus i forhold til gjeldende teknisk forskrift. Disse estimatene er basert på realiserte passivhus- og lavenergi prosjekter fra Norge, Sverige, Tyskland og Østerrike. Det presiseres at det er stor usikkerhet i tallene og at de vil variere fra prosjekt til prosjekt. Det ligger også et usikkerhetsmoment blant referanseprosjektene da det i flere tilfeller ikke er brukt tall fra de mest energieffektive byggeprosjektene. Det er gjort en kvalitativ vurdering av utvikling på systemer og komponenter som vil redusere kostnadene. [19] I rapporten er det anslått hvor stor merkostnadene er for nybygg og rehabilitering (se tabell 2.2). Nybygg yrkesbygg er relevant for denne oppgaven. Fra forskriftsnivå 2007 (TEK07) til passivhusnivå (2017) er det anslått en merkostnad på ca 800 kr/m<sup>2</sup>. (Se tabell 2.2)

**Tabell 2. 2 Anslåtte merkostnader for nybygg og rehabilitering [Kr/m<sup>2</sup>] [19]**

Nivå	Nybygg		Rehabilitering	
	Boliger	Yrkesbygg	Boliger	Yrkesbygg
Forskriftsnivå 2007	0	0	750	500
Lavenerginiivå (2012)	600	400	1000	600
Passivhusnivå (2017)	1200	<b>800</b>	1500	900
Passivhus + nivå (2022)	1500	1000	1800	1080

Denne merkostnaden er beskrevet nærmere i rapportens vedlegg B. Dette går frem i tabell 2.3. Utgangspunktet for disse grove beregningene er et treetasjes kontorbygg på 3600m<sup>2</sup>. Tabellen gir en indikasjon på hvilke merkostnader som kan forventes og hvilke tiltak som kan gjennomføres. Alle tiltakene gir en samlet ekstrakostnad på 720 kr/m<sup>2</sup>. På grunn av mye usikkerhet og lokale forskjeller rundes denne verdien opp til 800 kr/m<sup>2</sup>. [19]

**Tabell 2. 3 Estimerte merkostnader for bygging til passivhusnivå for nye yrkesbygg [19]**

Komponent/ bygningssdel	Ekstrakostnad (kr/m <sup>2</sup> )	Kommentar
Yttervegg	150	Går opp fra 250 til 300 mm isolasjon.
Gulv	75	Går opp fra 200 til 350 mm isolasjon.
Yttertak	125	Går opp fra 300 til 450 mm isolasjon.
Vinduer og dører	120	Bruker passivhusvinduer og dører med U = 0,80.
Kuldebro- eliminering	50	Tiltak for å redusere kuldebroer.
Lufttetthet	75	Tiltak for å nå et lekkasjetall på 0,6 oms/t.
Varmegjenv.- og SFP	150	Bedre gjenvinning og lavere SFP i aggregatet.
Behovsstyring	200	Behovsstyring av ventilasjon og belysning ved CO <sub>2</sub> og tilstedeværelsesstyring
Oppvarmings- system	-225	Effektbehov redusert fra 60 til 15 W/m <sup>2</sup> . Anslått kW- pris: 5 000 kr (5 kr/W).
Kjølesystem	-150	Laveffektkjøling, installert effekt redusert fra 30 til 15 W/m <sup>2</sup> . Anslått besparing 10 kr/W.
Belysnings- system	50	Energieffektivt belysningssystem (T5-rør)
Lokal fornybar energi	0	Kun gridbasert elektrisitet (i dette eksempelet)
Ekstra prosjektering og KS av byggeprosess	100	Noe ekstra prosjektering og KS på byggeplass
<b>SUM</b>	<b>720</b>	<b>Avrundet til 800 kr/m<sup>2</sup></b>

### 2.3.3 PROSJEKTRAPPORT 42 – KRITERIER FOR PASSIVHUS- OG LAVENERGIBYGG – YRKESBYGG

Prosjektrapport 42 er en rapport i SINTEF byggforsk serien som tar for seg yrkesbygg som passivhus- og lavenergibygninger. Med yrkesbygg menes de 11 byggkategoriene angitt i TEK07 utover de to boligkategoriene småhus og boligblokk. I tråd med passivhusstandarden

for boligbygninger, NS3700, er det i denne rapporten satt krav til netto oppvarmingsbehov, netto kjølebehov, varmetall og CO<sub>2</sub>-utslipp. Det er satt minstekrav til komponenter og veiledende verdier for interne varmetilskudd og luftmengder. Rapporten inneholder omfattende vedlegg som beskriver bakgrunnen for kriteriene i rapporten. Kriteriene som er fastsatt i Prosjektrapport 42 skal brukes ved prosjektering og bygging av yrkesbygg frem til det foreligger en norsk standard for yrkesbygg. [20]

Bestemmelse av inndata og beregninger skal utføres i henhold til NS3031. Innenfor områdene luftmengder og interne varmetilskudd er det satt minimumsverdier som er betydelig lavere enn de som er oppgitt i NS3031 tillegg A. Underlag for disse verdiene følger i rapportens vedlegg. Krav om, lys, utstyr, personer, varmtvann og driftstider til ventilasjon er som gitt i NS3031 tillegg A.[20]

Tabeller i rapporten fastsetter anbefalt minste luftmengdebehov, interne varmetilskudd, oppvarmings- og kjølebehov, varmetapstall og CO<sub>2</sub>-utslipp for de forskjellige bygningskategoriene. Følgende tabell angir minstekrav til bygningsdeler, komponenter og lekkasjetall for bygget.[20]

**Tabell 2. 4 Minstekrav til bygningsdeler, komponenter og lekkasjetall**

Egenskap	Verdi
U-verdi yttervegg	$\leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
U-verdi gulv	$\leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
U-verdi tak	$\leq 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
U-verdi vindu*	$\leq 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
U-verdi dør	$\leq 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Normalisert kuldebroverdi, $\Psi'$	$\leq 0,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Virkningsgrad varmegjenvinner, $\eta_T$	$\geq 80 \%$
SFP-faktor ventilasjonsanlegg	$\leq 1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$
Lekkasjetall ved 50 Pa, $n_{50}$	$\leq 0,60 \text{ h}^{-1}$

I prosjektrapportens tillegg A1 angis det kriterier for kaldt klima. Foreløpig definisjon på kaldt klima er steder med årsmiddeltemperatur lavere enn 6,3 °C (Normert Oslo-klima). Et grovt



estimat anslår at 70-75 % av dagens og fremtidens bygg havner på steder med varmere årsmiddeltemperatur enn 6,3 °C, og normert Oslo-klima vil bli benyttet i beregningene.

### **2.3.4 NS3031:2007 – BEREGNING AV BYGNINGERS ENERGIYTELSE – METODE OG DATA**

NS3031 inneholder beregningsregler og inndata som brukes for å dokumentere bygningers årlige energibehov og energiytelse. Denne standarden brukes også som referansestandard for energimerking av bygninger og til reviderte energikrav i TEK. Standarden inneholder tre forskjellige beregningsmetoder:

- månedsberegning (stasjonær metode) etter NS-EN ISO 13790;
- forenklet timeberegning (dynamisk metode) etter NS-EN ISO 13790;
- detaljerte beregningsprogrammer (dynamisk metode) validert etter NS-EN 15265.

Standarden fastlegger regler for beregning av bygningers netto energibehov, varmetapstall, levert energi til bygninger, energikostnad og CO<sub>2</sub>-utslipp. NS 3031 kan brukes til å vurdere om bygningen tilfredsstiller energikravene i TEK. Man kan bruke standarden til å dokumentere teoretisk energibehov og energiytelse for eksempel i forbindelse med energisertifisering, og man kan optimalisere energiytelsen til en bygning. Standarden kan også brukes til å vurdere virkningen av mulige energiltak på eksisterende bygninger, og til å anslå fremtidig behov for energiresurser på nasjonalt og internasjonalt nivå. Etter at TEK10 trådte i kraft ble det innført endringer i NS 3031. Endringsblad A har oppdaterte beregningsforutsetninger for energikravene. Disse skal benyttes ved beregninger i henhold til TEK10 og Prosjektrapport 42. Overgangsperioden er over den 1.juli 2011. [21] Fra denne dato vil endringsbladet innarbeides permanent i NS 3031.

## 2.4 PASSIVHUS

Et passivhus er en bygning som har et veldig lavt energibehov sammenlignet med vanlige hus. Grunnen til at det kalles passivhus er at man tar i bruk mest mulig passive tiltak for å redusere energibehovet. For å redusere energibehovet er det nødvendig å følge passivhusprinsippene: bygg tett, isoler godt, utnytt solenergien, benytt varmepumpe, fornybare energikilder og behovsstyrt ventilasjon med kjøling.

Passivhusinstituttet i Tyskland har lansert begrepet passivhus. De står bak en sertifiseringsordning for byggeprodukter og bygninger. [22] Passivhus er av Passivhausinstituttet i Darmstadt definert som:

***”Et Passivhus er en bygning med komfortabelt inneklima, som er mulig å oppnå kun med ettervarming eller etterkjøling av uansett nødvendige ventilasjonsluftmengder.”[23]***

I tillegg til denne beskrivende definisjonen foreligger det spesifikke krav som må innfris for at bygget skal kunne kalles passivhus. På grunn av det norske klima er kravene litt annerledes i Norge enn hva som er fastsatt i den tyske standarden. For næringsbygg i passivhusnivå skal prosjektrapport 42 benyttes. Det er utviklet en egen norsk standard for boliger i passivhusnivå, NS3700:2010 Kriterier for passivhus og lavenergihus – Boligbygninger.

NS3700:2010 refererer til den norske definisjonen, og definerer kravene og regelverket som ligger til grunn for bygging av passivhus i Norge.

### **TYSK DEFINISJON**

- Årlig oppvarmingsbehov  $\leq 15$  kWh/m<sup>2</sup>år
- Installert oppvarmingseffekt  $\leq 10$  W/m<sup>2</sup>
- Primærenergibehov  $\leq 120$  kWh/m<sup>2</sup>år (multipliserer strøm med 2,5)
- Likt krav for alle bolig-og byggtyper
- Alt varmebehov kan dekkes av ventilasjonsanlegget [24]

### **NORSK DEFINISJON**

- $Q_{oppv} \leq 15$  kWh/m<sup>2</sup>år for Østlandet, Sørlandet, Sør-Vestlandet (og dalstrøka innenfor).
- Årsmiddeltemperatur  $> 5$  °C.

- Litt høyere minstekrav ( $Q_{oppv} > 15 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ ) for eneboliger under 200 m<sup>2</sup>
- Samme krav til bygningsstandard, men justert minstekrav for energi- og effekt i kaldere strøk av landet.
- Omformulert norsk krav til "primærenergi" som vil sette et minimumskrav til fornybar energi.
- Mindre fokus på bruk av luftvarme, forenklede/kosteffektive vannbårne systemer mer aktuelt. [24]

## 2.5 INNEKLIMA

Foruten normal ventilasjon og oppvarming/kjøling blir det termiske inneklimate hovedsakelig påvirket av fire faktorer; luftlekkasjer/utettheter, dårlig isolering, kaldras og kaldstråling.

Av klager på dårlig isolering er det i 90 % av tilfellene luftlekkasjer/utettheter som er problemet.[25] Kaldras og kaldstråling oppstår primært i forbindelse med større vindusflater. Kaldras oppstår når varmluften inne treffer en kald glassflate og synker ned mot gulvet. Et stort vindu vil skape større fart på den kalde luften som synker og dette vil oppleves som trekk og gulvkulde. [26]

Kaldstråling oppstår ved at den kalde vindusflaten tiltrekker seg varmestråling fra personer i rommet. Denne strålingsutvekslingen vil kunne oppleves som trekk ved store temperaturforskjeller. Trelags passivhusvinduer med lav u-verdi vil forhindre kaldras og kaldstråling. Årsaken til dette er at det innerste glasset på disse vinduene ikke avkjøles i like stor grad som ved konvensjonelle vinduer. [26]

Alle bygninger har luftlekkasjer i klimaskjermen enten i form av utettheter i fasaden eller i form av vinduer og dører som slipper inn luft. I energiberegningene er dette tatt hensyn til ved å benytte en infiltrasjonsrate. For passivhus er minstekravet for lekkasjetall ved 50Pa lik 0,60 utskiftninger per time.[22] Primært forekommer luftlekkasjer langs gulvlistene ved overgangen mellom gulv og yttervegg, langs taklistene ved overgangen mellom himling og yttervegg, rundt ytterdør og vinduer, ved gjennomføringer i ytterkonstruksjoner, samt skiller mellom adskilte enheter.[26] Luftlekkasjer øker energibehovet og øker faren for kondens og

soppdannelser. Disse faretegnene er ikke bra for inn klimaet, verken for inneluften eller bygningskonstruksjonen.

Alle nye passivhus må ved ferdigstillelse gjennom en trykktesting for å se om det faktiske lekkasjetallet samsvarer med det beregnede tallet og holder seg innenfor kravene. Ved å påføre et undertrykk på 50 Pa inne i bygget måles luftlekkasjene med termografi.

Dokumentasjon av byggets lekkasjetall skal gjøres i henhold til NS-EN 13829 og dokumenteres i en egen rapport.[20]

I utsatte rom med forventet dimensjonerende personbelastning bør det dokumenteres et maksimalt CO<sub>2</sub>-nivå på 1000 ppm. Gjeldende teknisk forskrift gir en veiledning til forventet personbelastning i ulike rom. Det skal også kunne dokumenteres at operativ temperatur ikke overskrider 26 °C i mer enn 50 timer i løpet av et normalår.[20]

## 2.6 FORUTSETNINGER FOR ØKONOMISKE ANALYSER

Lønnsomheten til en investering kan beregnes på ulike måter. På grunn av usikkerhet kan det ikke beregnes nøyaktige inntekter og kostnader ved en investering, men det er laget modeller som viser gode estimater for fremtidig lønnsomhet. Slike modeller kan være basert på internrentemetoden, nåverdimetoden og inntjeningsmetoden.

Internrentemetoden brukes til å finne ut hvilket avkastningskrav som gir en lønnsom investering. Investeringen er lønnsom dersom avkastningskravet er lavere enn internrenten til investeringen. Inntjeningstiden er den tiden det tar før nåverdisummen av fremtidige inntekter er like stor som investeringskostnaden. Tilbakebetalingstid er et annet begrep som brukes som en forenklet beregning av inntjeningstid med kalkulasjonsrente lik null. Denne gir kun et grovt overslag som ikke bør brukes til annet enn sammenligning av mulige investeringer.

Utgangspunktet for nåverdimetoden er at alle fremtidige kontantstrømmer tilbakeføres til investeringstidspunktet. Verdien av fremtidige kostnader og inntekter vurderes i forhold til investerings avkastningskrav. Avkastningskravet er nettooverskuddet eierne og andre investorer kan oppnå ved alternativ plassering av kapitalen med lik risiko som investeringen.

For at en investering skal være lønnsom, må nåverdien være positiv. Se vedlegg B for nåverdiformler med forklaring.

Det er i de økonomiske analysene og kostnadsberegningene tatt en del nødvendige forutsetninger. Det beror seg en usikkerhet i forhold til strømprisen. Strømprisen varierer i forhold til etterspørsel og tilgang til kraftproduksjon. Strømmen som produseres i Norge stammer i hovedsak fra vannkraft. Dermed vil nedbørmengde og temperatur kunne ha stor innvirkning på strømprisen. Etter som vi også er tilknyttet kraftbørsen Nordpool, kan også andre forhold i Europa påvirke den norske kraftprisen. For å vurdere lønnsomheten av energibesparende tiltak er energiprisene benyttet i denne oppgaven variabel strømpris addert med variabel fastleie og offentlige avgifter. Fastleddet vil ikke bli påvirket av byggets energibruk, og kan dermed neglisjeres.

Da det ikke er mulig å vite hvordan energimarkedet kommer til å være i fremtiden er energiprisene som er brukt i denne oppgaven kalkulert ut i fra erfaringsdata fra leverandørene. Det er brukt en energipris på 82 øre/kWh for elkraft, som er gjennomsnittlig energipris siste år for en standard variabel avtale hos Lyse AS. Energiprisen for fjernvarme er hentet fra Bryne Energis middelerdi, og ligger på 70 øre/kWh. I lønnsomhetsberegningene ligger det ved en sensitivitetsanalyse som illustrerer hvilke konsekvenser en forandring i energiprisen vil gi.

## 2.7 ENOVASTØTTE

Enovas støtteprogram tilbyr investeringsstøtte til fysiske tiltak for å oppnå passivhus eller lavenergibygg. Støtten gis til både nye bygg og rehabiliteringsprosjekter innenfor alle bygningskategorier. Størrelsen på støtten er avhengig av bygningskategori, byggets størrelse og ambisjonsnivå.

Bygget skal planlegges og bygges i henhold til gjeldende standard for bygningstypen. For boligbygninger har Standard Norge gitt ut "NS3700:2010 - Kriterier for passivhus og lavenergihus, Boligbygninger". Da det ennå ikke foreligger en Standard for næringsbygg skal følgende rapport fra Sintef benyttes; "Prosjektrapport 42:2009 - Sintef - Kriterier for passivhus- og lavenergibygg, Yrkesbygg". Støtteprogrammet er et fokusområde i utviklingen

mot å nå Enovas mål om å effektivisere energibruken i bygninger. Som følge av dette målet vil varige markedsendringer forekomme.

***”Enova har som strategisk retning at all bygging og omfattende rehabilitering skal skje på passivhusnivå innen 2020”[27]***

---

For å få støtte av Enova, må det være slik at denne støtten er utløsende faktor for gjennomføring av tiltakene. Løsningene skal kunne dokumenteres og være godt egnet for gjentakelse. Enova støtter 40 % av referansemerkostnadene for ulike ambisjonsnivå og bygningskategorier. For nye yrkesbygg i passivhusstandard er maksimalt støttenivå per kvadratmeter oppvarmet areal (BRA) på 350NOK/m<sup>2</sup>. Merkostnaden beregnes som prosjektets ekstrakostnad ved å bygge passivhus i forhold til bygging etter gjeldende forskrift. Maksimal støtte kan utgjøre opptil 60 % av merkostnaden knyttet til å bygge til en bedre standard enn teknisk forskrift.

Søknaden om støtte krever en del informasjon. Først må søknadsskjema i Enovas søknadssenter fylles ut. Følgende må legges ved søknaden; tegningsgrunnlag og skildrende illustrasjoner, prosjektbeskrivelse, og energibehovsberegning med sentrale inndata dokumentert. I tillegg til ovennevnte må det utføres en lønnsomhetsberegning som genereres i søknadssenteret ved hjelp av en investeringskalkulator.

Når bygget er satt opp skal det leveres en endelig energirapport oppdatert med energieresultater etter byggets endelige fremtoning. Det skal legges ved dokumentasjon for gjennomført trykktesting og beregningsgrunnlaget skal leveres som dokumentasjon på riktig ambisjonsnivå. Det skal innrapporteres målte energieresultat til Enovas Byggnett i 10 år etter at bygget er satt opp og i drift. En siste forutsetning for støtte fra Enova er at det skal være et forbildeprosjekt både for prosjekteier og for Enova. Det vil si at det vil publiseres informasjon om prosjektet både i prosjektperioden og etter at bygget er satt opp.[27]

Som en støtte til de som skal bygge passivhus og lavenergibygger har Enova utarbeidet tabeller for energibesparelse og referansenivå. Tabellene er delt inn etter ambisjonsnivå og nybygg/rehabilitering. Tabellene er ment for å gi veiledende tall som kan brukes i søknaden. For kontorbygg i passivhusstandard stilles det krav til oppvarmingsbehov i henhold til Prosjektrapport 42 fra Sintef. I henhold til vedlegg A1 i Prosjektrapport 42 skal det benyttes

Osloklima for energiberegninger av yrkesbygg i kaldt klima. Alle nybygg bruker energiramme for aktuell byggkategori i henhold til gjeldende teknisk forskrift. Tabell 2.5 viser estimert energibehov og energibesparelse ved bygging av kontorbygg som passivhus. [27]

**Tabell 2.5** Estimert netto energibehov og besparelse for nye kontorbygg i passivhusnivå

Byggkategori	Krav til oppvarmingsbehov	Referanse totalt netto energibehov (TEK07)	Estimert totalt netto energibehov	Estimert besparelse	Estimert minimum fornybarandel	Samlet estimert energiresultat
Kontorbygg	15 kWh/m <sup>2</sup>	165 kWh/m <sup>2</sup>	72 kWh/m <sup>2</sup>	93 kWh/m <sup>2</sup>	8 kWh/m <sup>2</sup>	101 kWh/m <sup>2</sup>

For nye kontorbygninger i passivhusnivå gjelder følgende: Krav til oppvarming 15 kWh/m<sup>2</sup>. Referanse totalt netto energibehov 165 kWh/m<sup>2</sup>. Estimert totalt netto energibehov 72 kWh/m<sup>2</sup>. Estimert besparelse 93 kWh/m<sup>2</sup>. Estimert minimum fornybar andel 8 kWh/m<sup>2</sup>. Samlet estimert energiresultat 101 kWh/m<sup>2</sup>.

## DEL 3 REFERANSEPROSJEKT

### 3.1 HINNA PARK

*”Hinna Park skal bli ett av Nordens mest varierte og spennende nærings- og boligområder. Og området skal bidra til regional verdiskaping og kulturelt mangfold.”[28]*

I 1998 ble Hinna Park etablert for å utvikle Jåttåvågen til et attraktivt nærings- og boligområde. Selskapet ble dannet etter en overbevisning om at en samlet planlegging av Jåttåvågen måtte til for å kunne gi de beste forutsetninger for en vellykket utbygning. I desember 2001 inngikk Hinna Park og Stavanger Kommune en avtale om utvikling av søndre del av Jåttåvågen. Denne avtalen gir Hinna Park ansvar for utvikling av ca 235 000 m<sup>2</sup> nærings-, bolig- og servicearealer. Avtaleverket mellom Stavanger kommune og Hinna Park sikrer en samlet planlegging av området. Hinna Park er ansvarlig for planlegging av bebyggelse frem til godkjenning, og utvikling av all infrastruktur, friområder og sjøfront. Andre utbyggere kan involveres i selve gjennomføringsfasen.[29]



Figur 3. 1 Oversiktsbilde over Jåttåvågen og Hinna Park [30]



Bildet (figur 3.1) viser en skisse av Hinna Park med Stavanger stadion i sentrum og kontorbygget "Troll" innsirklet. Området har en fantastisk beliggenhet i Jåttåvågen som ligger ved kysten mellom Stavanger og Sandnes.

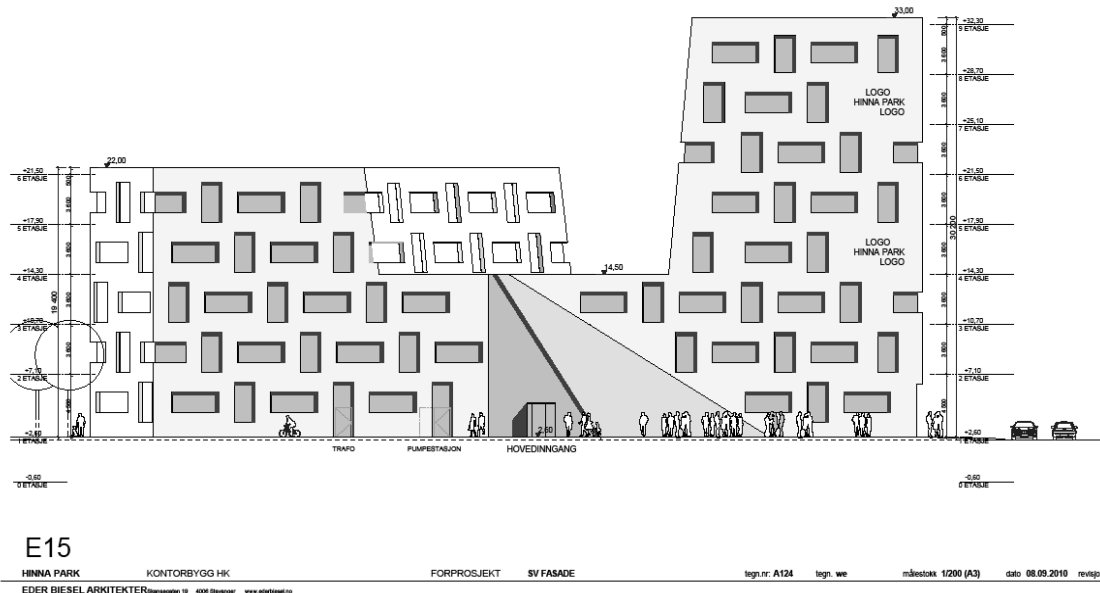
## 3.2 PROSJEKTBEKRIVELSE "TROLL"

"Troll" vil bli et kontorbygg i Hinna Park beregnet for utleie. Bygget er oppkalt etter plattformen som ble bygget i området på begynnelsen av nittitallet.

Bygget skal oppføres i tre etasjer med en grunnflate på 1512 m<sup>2</sup>. Det vil være to tårn på toppen av tredje etasje med henholdsvis ytterligere to og fem etasjer. Mellom tårnene vil de tre nederste etasjene bestå av et åpent atrium. Her vil det være takvinduer i tredje etasje som slipper lys ned til første. Byggets oppvarmede bruksareal er på 8298 m<sup>2</sup> og bruttoarealet vil være på ca 8870 m<sup>2</sup>.

Det er en målsetning å bli et passivhus som tilfredsstiller kriteriene gitt i Prosjektrapport 42 i tillegg til å bli klassifisert til A-bygg i henhold til energimerkeforskriften. Foruten disse målene er det også en god erfaring til senere utbygginger, samtidig som det viser at det går an å bygge arkitektonisk særegne bygg med strenge krav til energimål. Energimålet for bygget er, etter kriterier gitt i Prosjektrapport 42, å komme ned i et energibehov på 74,2 kWh/m<sup>2</sup> og 59,8 kWh/m<sup>2</sup> levert energi. Dette gir et totalt energieresultat på 640 256 kWh/år reduksjon målt i forhold til krav gitt i teknisk forskrift.

Prosjektet utvikles i samarbeid med Eder Biesel Arkitekter AS, Kruse Smith Entreprenør AS og DNF AS.



**Figur 3.2 Sør-vestre fasadetegning (Eder Biesel Arkitekter AS)**

### 3.3 BYGNINGSKONSTRUKSJON

Bygget er beregnet etter Prosjektrapport 42. Det er lagt til grunn klassiske egenskaper for passivhus. Det fokuseres på at bygget skal være kompakt og med godt isolerte vegger og tak. Mulige kuldebroer skal reduseres, og det skal gjennom hele prosessen holdes høyt fokus på tetthet. Se vedlegg A for ytterligere snitt- og fasadetegninger.

#### 3.3.1 FASADER

Fasadene vil bli bygd med 310mm isolert bindingsverk av I-profiler av tre. Klimaskjerm utvendig vil bestå av aluminiumskassetter. Dette gir en beregnet u-verdi på  $0,14\text{W/m}^2\text{K}$ .

### **3.3.2 VINDUER**

Vinduene dette bygget er prosjektert med er av typen NorDan N-Tech Passiv. Det vil bli brukt et stort antall både stående og liggende 1488\*2888 mm vinduer med isolert fast karm på 105mm. U-verdiberegningene er utført av NorDan med beregningsmetodikk kvalitetssikret av Sintef Byggforsk. Beregningene gir en total gjennomsnittlig u-verdi på 0,63W/m<sup>2</sup>K.

Vinduene i atriet og takvinduene vil være trelags vinduer med aluminiumskarm. U-verdien for disse er beregnet til 0,8W/m<sup>2</sup>K.

Passivhusvindu er lagd med tanke på å forhindre kaldras og kuldestråling fra vinduene, derfor vil det være overflødig med varmekilder under vinduene, og man får dermed utnyttet arealet bedre. Vinduene er tradisjonelt en komponent som har ført til store ekstraavgifter for passivhus. Det koster å fremskaffe vindu med såpass lav u-verdi. Prisene for slike vindu vil trolig reduseres når de blir standard hyllevarer i byggevareforretningene.

### **3.3.3 GULV**

Byggets gulv vil i hovedsak vende mot ventilert uoppvarmet parkeringskjeller. Gulvet vil bestå av stedstøpt dekke isolert fra oversiden med 250 mm isolasjon. Gulv mot grunn vil bli isolert med samme isolasjonstykkelse. U-verdi er beregnet til 0,13W/m<sup>2</sup>K.

### **3.3.4 TAK**

Takkonstruksjonen vil være flatt kompakttak i betong med 400 mm isolasjon. Dette gir en beregnet u-verdi på 0,10W/m<sup>2</sup>K.

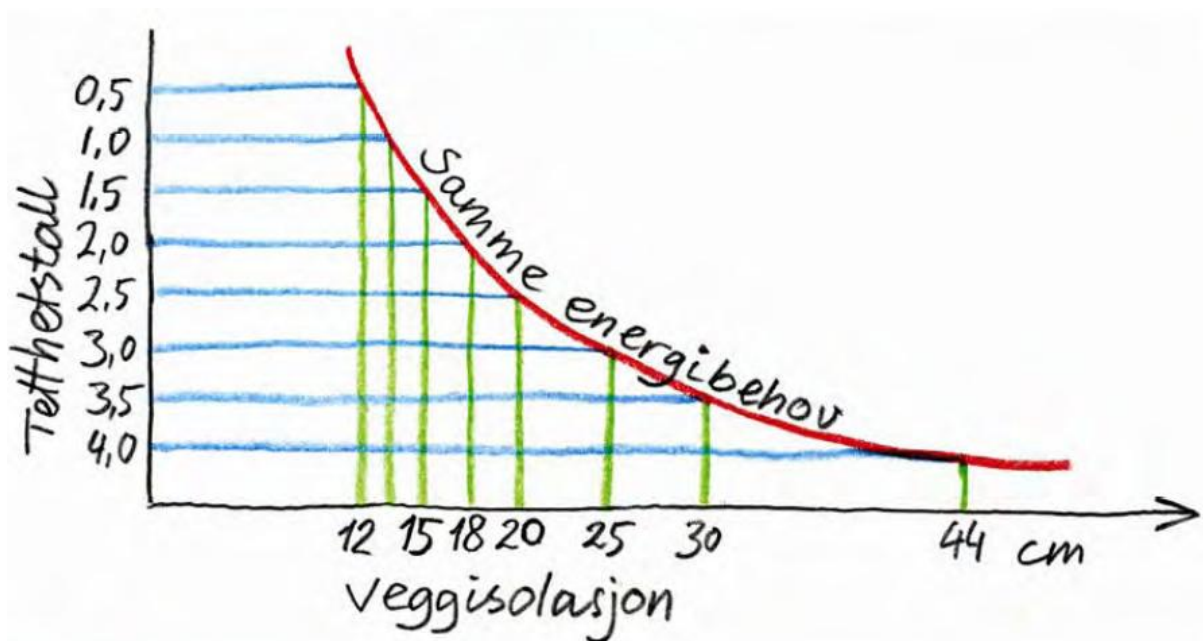
Tak over atriet er planlagt med takvinduer som vil gi overlys ned til 1. etasje. Bruk av direkte tilskudd av solvarme er en av de billigste løsningene for å utnytte solenergi. Takvinduer som dette gir rommet et mer åpent preg og fungerer som en naturlig lyskilde for atriet.

Yttertak er vanligvis det enkleste og mest kostnadseffektive stedet å isolere med store isolasjonstykkelser. Ved bruk av prefabrikerte lettkonstruksjoner må man isolere oversiden av elementet eller himling under elementet for å få en u-verdi under minstekravet for passivhusnivå og lavere.

### 3.3.5 TETTHET

Erfaringstall fra tidligere prosjekter gjort av Kruse Smith Entreprenør AS har gitt målinger ned mot 0,2 luftskift/time ved trykktesting. For å være på sikker side er det i energiberegningene lagt til grunn 0,5 luftskifter/time. Dette er tall som tilfredsstiller kravene i Prosjektrapport 42. Ved å holde høyt fokus på tetthet gjennom hele byggeperioden vil målet om å komme ned mot 0,2 luftskifter/time bli nådd.

Grafen under viser viktigheten ved god tetthet. Den sammenligner tetthetstall med veggtykkelse. Ut i fra grafen kan en se at en vegg med tetthetstall på 0,5 og veggtykkelse på bare 12 cm utgjør samme energibehov som en vegg med tetthetstall 4,0 og hele 44 cm veggtykkelse.



Figur 3. 3 Sammenheng mellom tetthetstall og veggisolasjonstykkelse [31]

### 3.3.6 KULDEBROER

Kuldebroer er felter i en bygningskonstruksjon der isoleringsevnen er vesentlig dårligere enn ellers i konstruksjonen. Eksempler på dette er gjennomgående metallprofiler i vinduskarm, trekonstruksjoner i en isolert vegg eller gjennomgående betongkonstruksjon fra varm til kald side.[32]

Eder Biesel Arkitekter AS og Norconsult AS har sammen definert og beregnet byggets normaliserte kuldebroverdi. Største del av varmetapet fra kuldebroer kommer fra vinduer og gesims. Total normalisert kuldebroverdi for bruttoareal på 8273m<sup>2</sup> er beregnet til 0,015W/m<sup>2</sup>K.

### **3.4 ENERGIFORSYNING**

Prosjektet har et beregnet energieresultat på 640.256 kWh/år reduksjon målt mot krav i gjeldende teknisk forskrift og i henhold til Prosjektrapport 42. Fordelingen av redusert energi er på 266.682kW/h elkraft og 373.574 kW/h fjernvarmeenergi. For å oppnå dette energieresultatet skal det benyttes en kombinasjon av nye og tradisjonelle byggemetoder, energieffektive tekniske anlegg og bruk av varmepumpe og solfanger.

Resultatene for energibesparelse forutsetter energivennlig bruk av bygget i tillegg til de tiltak som allerede er forespeilet i oppgaven. Innenfor kategorien boliger, fins det eksempler der to familier bor i like leiligheter og den ene bruker dobbelt så mye strøm som den andre. Dette skyldes et bruksmønster som ikke er energieffektivt. Eksempler på høyt forbruk er bruk av varme og lys i rom der ingen er til stede, om natten eller i arbeidstiden. For mye naturlig lufting samtidig som ovnene står på fullt er et annet klassisk eksempel på energisløsing.

#### **3.4.1 SOLFANGERE**

Det skal installeres 60m<sup>2</sup> solvarmeanlegg på taket av byggets høyeste tårn. Dette medfører at gratis solenergi utnyttes i varmeanlegget og til forvarming av tappevann. Med dette vil energiutgiftene til oppvarming og tappevannsoppvarming reduseres. Erfaringstall fra DNF AS viser at solfangerne vil produsere ca 500kWh/m<sup>2</sup> solfanger per år. Solfangere vil bli montert på taket, og det legges til rette for en varmesentral med et varmelager som utnytter solenergien i kombinasjon med fjernvarme elektrisitet og varmepumpe. Et velfungerende varmelager vil føre til reduserte antall start og stopp av anleggene som videre vil føre til økt virkningsgrad kombinert med andre tilknyttede energikilder.

### 3.4.2 VARMEPUMPER

I seg selv er ikke varmepumpe en energikilde, men ved bruk av elektrisitet henter den ut varmeenergi fra en varmekilde. En varmepumpe består av et lukket system der det sirkulerer kjølevæske. Prinsippet som benyttes er kompresjon og ekspansjon av gass for å øke og senke temperaturen. På denne måten er det mulig å ”pumpe” varme fra en relativt kald kilde til en varmere omgivelse. Varmeenergien hentes fra luft, jord, fjell, sjø eller grunnvann. [33, 34]

Det finnes i hovedsak tre typer varmepumper. Det er varmepumper basert på luft-til-luft, luft-til-vann, og vann-til-vann. Disse betegnelsene angir hvor varmen blir hentet fra, og hvordan den blir brukt i bygget. Det varierer i forhold til type bygg, alder, og omgivelser hvilken som vil være mest lønnsom, men det er så å si en forutsetning med varmepumpe hvis et bygg skal klassifiseres i energiklasse A. [33]

For å redusere energikostnaden i ”Troll” vil det bli installert en luft-til-vann varmepumpe. Denne skal dekke mesteparten av oppvarmingsbehovet, og vil bli plassert i byggets parkeringskjeller. En luft-til-vann varmepumpe er godt egnet til å varme opp tappevannet samt vannbåren gulvvarme og radiatorer. Energien blir hentet ute i luften og vil gå inn i et vannbasert system i bygget. I forhold til strømmen som blir tilført, vil denne typen varmepumpe gi 2,5 til 3,5 så mye varme. I beregningene er denne verdien (systemvirkningsgraden) satt til 2,7 i henhold til gjeldende forskrifter. Luft-til-vann varmepumper har lavere investeringskostnader enn andre typer varmepumper. Den vil også gi en god varmefordeling og jevn temperatur. Da dette bygget skal settes opp nær sjøen, kan man forvente noe kortere levetid på varmepumpen grunnet fuktig og saltholdig luft. Levetiden for en luft-til-vann varmepumpe er normalt ca 15 år.[35]

### 3.4.3 FJERNVARME

Det vil bli benyttet fjernvarme til oppvarming når det ikke er tilstrekkelig med annen energi. En vanlig definisjon for fjernvarme er følgende.

**”Fjernvarme er distribusjon og bruk av varmt vann via rørrnett med minst tre kunder og et samlet årlig energibehov på mer enn 1 GWh”[36]**

---

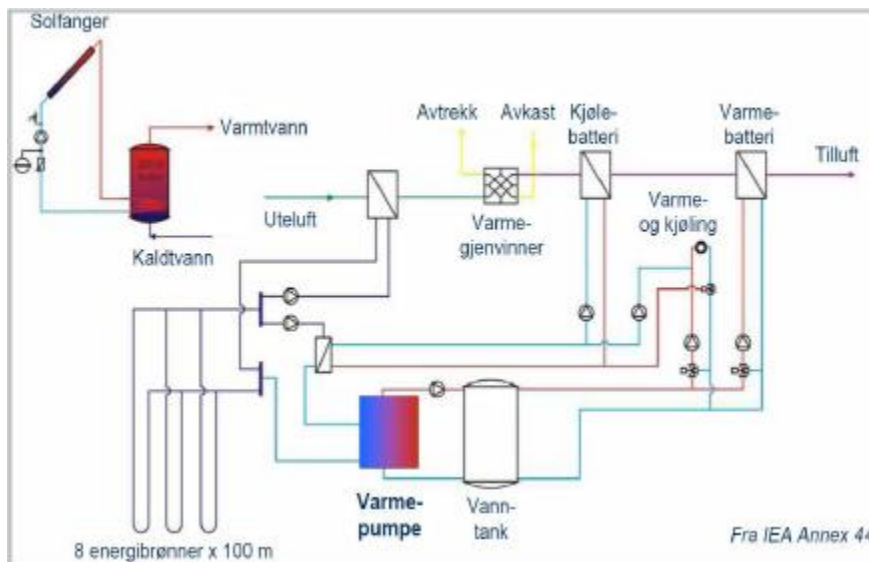
Fjernvarmeanleggene i Norge er stort sett basert på brenning av søppel, men når det ikke er tilstrekkelig tilgang på søppel brukes andre former for brensel. Dette kan være olje, elektrisitet, gass, og biobrensel. Dette medfører stor forskjell på fjernvarmeanleggene i forhold til hvor miljøvennlig de er. De fleste har til mål å dekke minst 50 % av brenselet med fornybare energikilder (søppel regnes i dette henseende som fornybar).

Fjernvarme fungerer slik at store brenselanlegg forbrenner søppel og andre energikilder, og bruker varmeenergien til å varme opp vann som blir distribuert ut i et stort vannbåret nettverk som hver enkelt bygg kan koble seg til. Via en varmeveksler vil varmen fra fjernvarmeledningen kobles til det vannbaserte varmesystemet i bygget.[37]

Fjernvarme blir i hovedsak levert til større bygninger og til områder med stor varmetetthet. I følge Fjernvarmerapporten fra 2005 går 78 % av fjernvarmen i Norge til næringsbygg.[36] Det forskes på å finne forenklede og kostnadseffektive vannbårne oppvarmingsanlegg som er tilpasset lavenergiboliger og passivhus. I områder med tilgjengelig fjernvarme vil energi fra fjernvarme kunne dekke tappevannsbehov og romoppvarming. [37]

#### **3.4.4 VENTILASJON**

Ventilasjonsanlegget leveres fra DNF AS. De bruker et SmartAir-system basert på aktive kjøle-/varmebafiler og frikjølingsbatteri. Ventilasjonsaggregatene benyttes til å produsere kaldvann. Da vil overskuddsvarme gjenvinnes tilbake til bygget ved varmebehov. Bygget vil få to ventilasjonsanlegg. Et vil bli plassert i underetasjen, mens det andre får lokasjon 3. etasje i det sørvestlige tårnet. Ved optimalisering av kanalnett viser beregninger gjort av Covent AS en SFP-faktor på 1,48 og 1,49 kW/m<sup>3</sup>s. Figur 3.4 viser en forenklet skisse av hvordan ventilasjonsanlegget og tilhørende komponenter er satt opp.[1]



**Figur 3. 4** Prinsippskisse av ventilasjonsanlegget med tilhørende komponenter [1]

### 3.4.5 KJØLING

For å oppnå et godt termisk inneklima bør kontorbygg dekke behov for komfortkjøling ved bruk av romkjøling og ventilasjonskjøling. Romkjøling er kjøling av inneluften ved bruk av lokale kjølebatterier som er fysisk plassert i rommet. På grunn av størrelsen på anlegget blir det benyttet luft-vann varmepumpe. Varmepumpen vil kjøle ned vann som sirkulerer rundt til lokale kjøleenheter (kjølebafler) i bygget. Ventilasjonskjøling er kjøling av ventilasjonsluft ved bruk av ventilasjonsanleggets kjølebatterier. Hvis mulig, vil frikjøling (se pkt 3.4.5.1) bli benyttet.

#### 3.4.5.1 FRIKJØLING

Frikjøling benyttes for å minske kjølebehovet uten å tilføre ekstra energi.

Ventilasjonsanlegget utnytter lave nattetemperaturer til å kjøle bygningen.

Varmegjenvinner, varmebatteri og kjølebatteri kobles ut, og tilluftstemperaturen vil følge utetemperatur.[38] I perioder med normaltemperatur under 10 °C skal beregnet kjølebehov dekkes av frikjøling via ventilasjonsanleggets inntak. For å opprettholde tilstrekkelig kjølekapasitet, vil det være nødvendig å supplere med fjernkjøling i perioder med normaltemperatur mellom 10 °C og 13 °C. Ved temperaturer høyere enn dette regnes det ikke med bidrag fra frikjøling. Med bakgrunn i klimadata fra Sola Klimastasjon regnes det



med at frikjøling vil dekke 50 % av beregnet behov for lokalkjøling. Frikjøling som brukes her vil gi en tilleggseffekt i økt varmegjenvinning som videre resulterer i redusert behov for oppvarming av ventilasjonsluft.

#### **3.4.5.2 FJERNKJØLING**

Når frikjøling ikke er tilstrekkelig vil fjernkjøling bli brukt. Fjernkjøling er termisk vannbåren kulde levert til kunder via en kundesentral. Denne kundesentralen er mellomledet fra det eksterne fjernkjølenettet til kundens interne kjøleanlegg. Fjernkjølenettet består av to medierør nedlagt i jorden eller hengt opp innendørs i bygninger. Den ene er for inngående kaldt vann som går til varmeveksler i kundesentralen. Den andre er for returvannet som nå er oppvarmet og går tilbake til varme-/kjølesentralen for ny nedkjøling og distribusjon. Det er mange variasjoner i fjernkjølevannet som leveres. Både temperatur, mengde, trykk og toleranse varierer i forhold til årstid og tid på døgnet.[39]

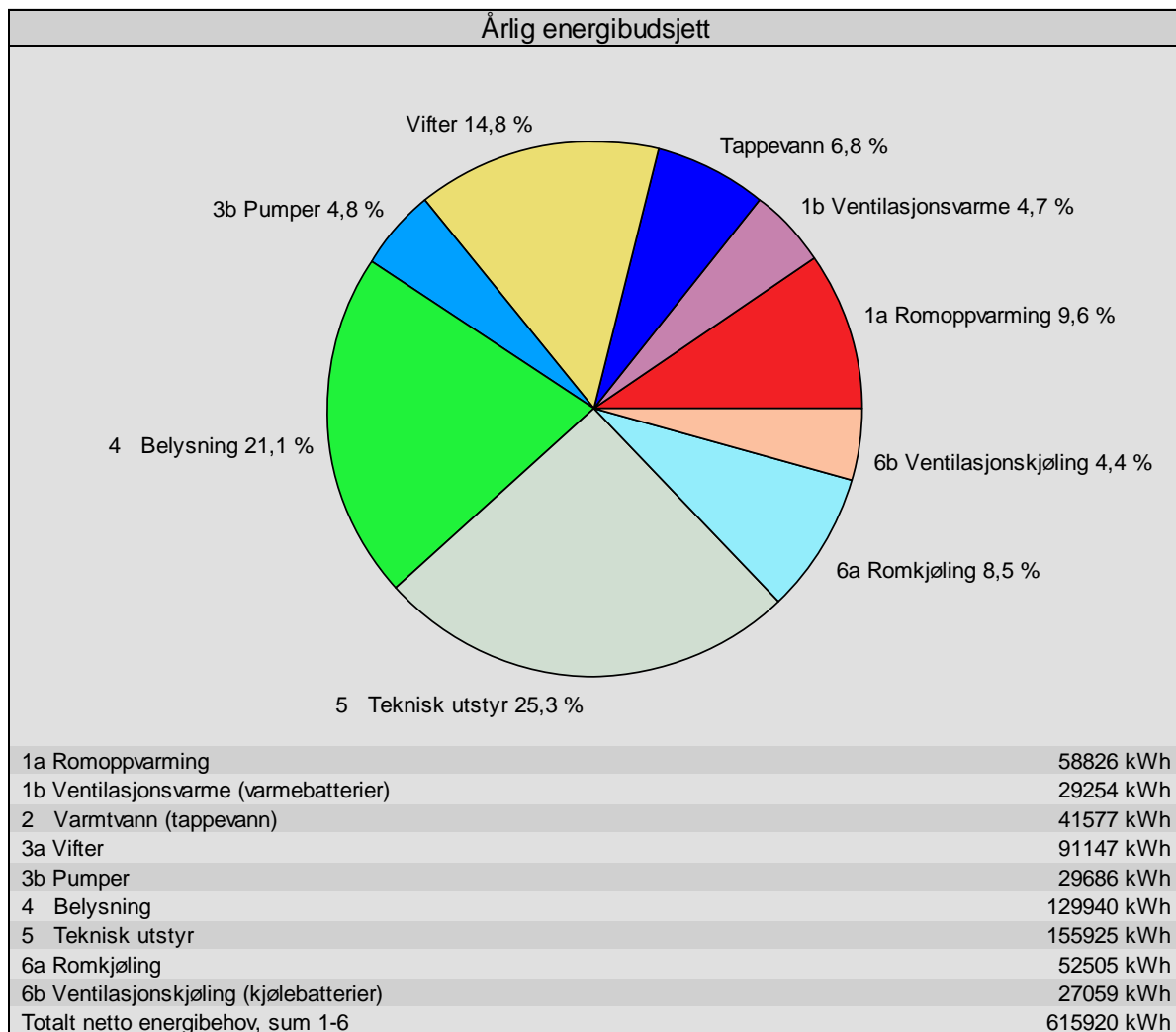
## DEL 4 RESULTATER

### 4.1 ENERGIBEREGNINGER

Referansebygget er lagt inn komponent for komponent i Simien. Med detaljer om alle enkeltkomponenter og tekniske løsninger gir Simien ut resultater med god nøyaktighet. Alle resultater jeg har brukt her er tatt fra utdata simuleringsfiler fra Simien. Av hensyn til Kruse Smith og DNF som har utført beregninger har jeg lagt ved begrenset med inndata.

#### 4.1.1 ÅRSSIMULERING

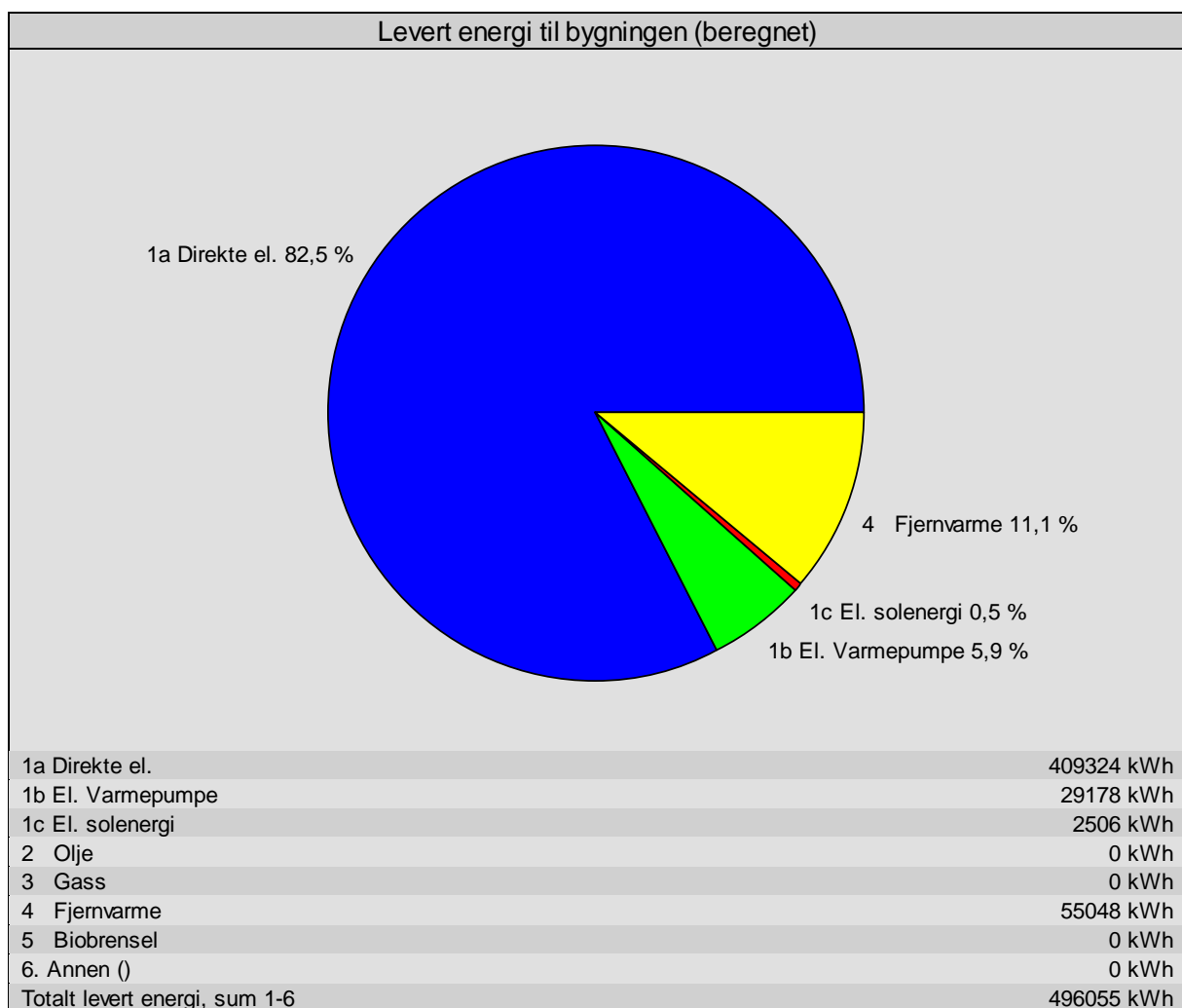
Ved en årssimulering finner vi årlig energibudsjett for bygget. Energibudsjettet forteller hvor mye energi som må leveres til bygningen årlig og illustrerer bygningens energibehov fordelt på teknisk utstyr, kjøling og oppvarmingselementer.[7]



**Figur 4. 1** Årlig energibudsjett (referanseprosjekt)

Av netto energibehov på 615920 kWh krever teknisk utstyr 25,3 % og belysning 21,1 % (Se figur 4.1). Romoppvarming krever overraskende ikke mer enn 9,6 %. Sammenlignet med andel romoppvarming for konvensjonelle kontorbygg bygget etter byggeforskrift 1997 som er på 22 %, og eldre bygg som har bruker så mye som 40 % av energibudsjettet på romoppvarming, ser man hvor lite det er nå.[40]

Årssimuleringen gir, i tillegg til energibudsjettet, også beregnet levert energi til bygningen fordelt på energikilder (se figur 4.2). [7] Totalt beregnet energi til bygningen er 496055 kWh. Av dette er 82,5 % levert fra direkte elektrisitet, 11,1 % fra fjernvarme, 5,9 % fra elektrisk varmpumpe, og 0,5 % fra solenergi. Total spesifikk levert energi til bygningen er 59,9 kWh/m<sup>2</sup>. Dette er meget lavt sammenlignet med normtallene.[40]



**Figur 4. 2** Beregnet levert energi til bygningen (referanseprosjekt)

Ut fra gitte energipriser gir årssimuleringen kostnadene for kjøpt energi. De beregnede årlige energikostnadene ligger på 400 159 kr. Dette gir en total spesifikk energikostnad på 48,2 kr/m<sup>2</sup>. (Se tabell 4.1)

**Tabell 4. 1 Kostnad kjøpt energi (referanseprosjekt)**

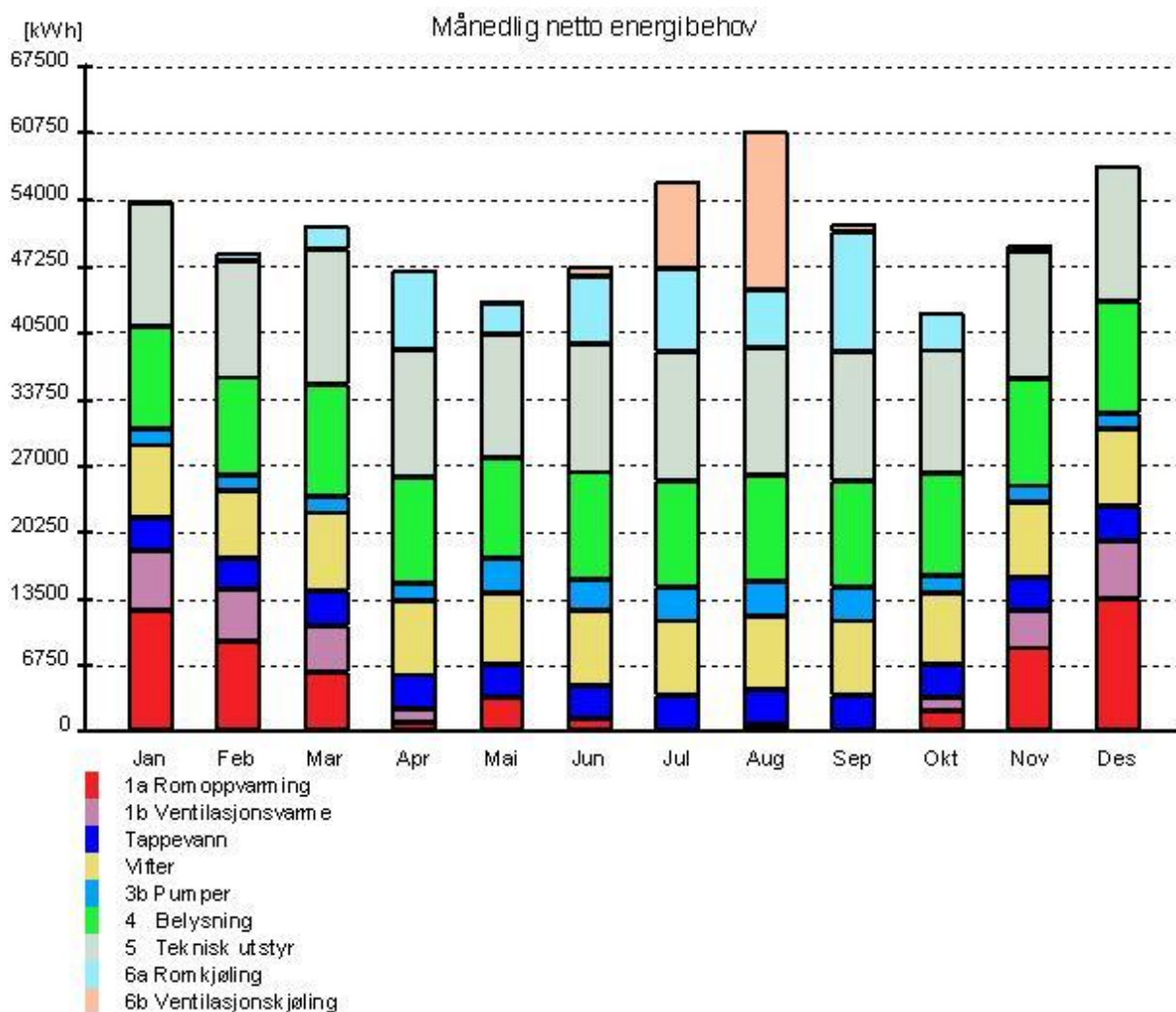
Kostnad kjøpt energi		
Energivare	Energikostnad	Spesifikk energikostnad
1a Direkte el.	335646 kr	40,5 kr/m <sup>2</sup>
1b El. Varmepumpe	23926 kr	2,9 kr/m <sup>2</sup>
1c El. solenergi	2055 kr	0,2 kr/m <sup>2</sup>
2 Olje	0 kr	0,0 kr/m <sup>2</sup>
3 Gass	0 kr	0,0 kr/m <sup>2</sup>
4 Fjernvarme	38533 kr	4,6 kr/m <sup>2</sup>
5 Biobrensel	0 kr	0,0 kr/m <sup>2</sup>
6. Annen ()	0 kr	0,0 kr/m <sup>2</sup>
Årlige energikostnader, sum 1-6	400159 kr	48,2 kr/m <sup>2</sup>

Simuleringene gir også ut en tabell for årlige utslipp av CO<sub>2</sub>, totalt og fordelt på kilde for energiforsyning. Det totale utslippet ligger på 186 914 kg. Dette gir et totalt spesifikt CO<sub>2</sub>-utslipp på 22,5 kg/m<sup>2</sup>. Dette ligger godt under kravet på 25 kg/m<sup>2</sup>.

**Tabell 4. 2 Årlige utslipp av CO<sub>2</sub> (referanseprosjekt)**

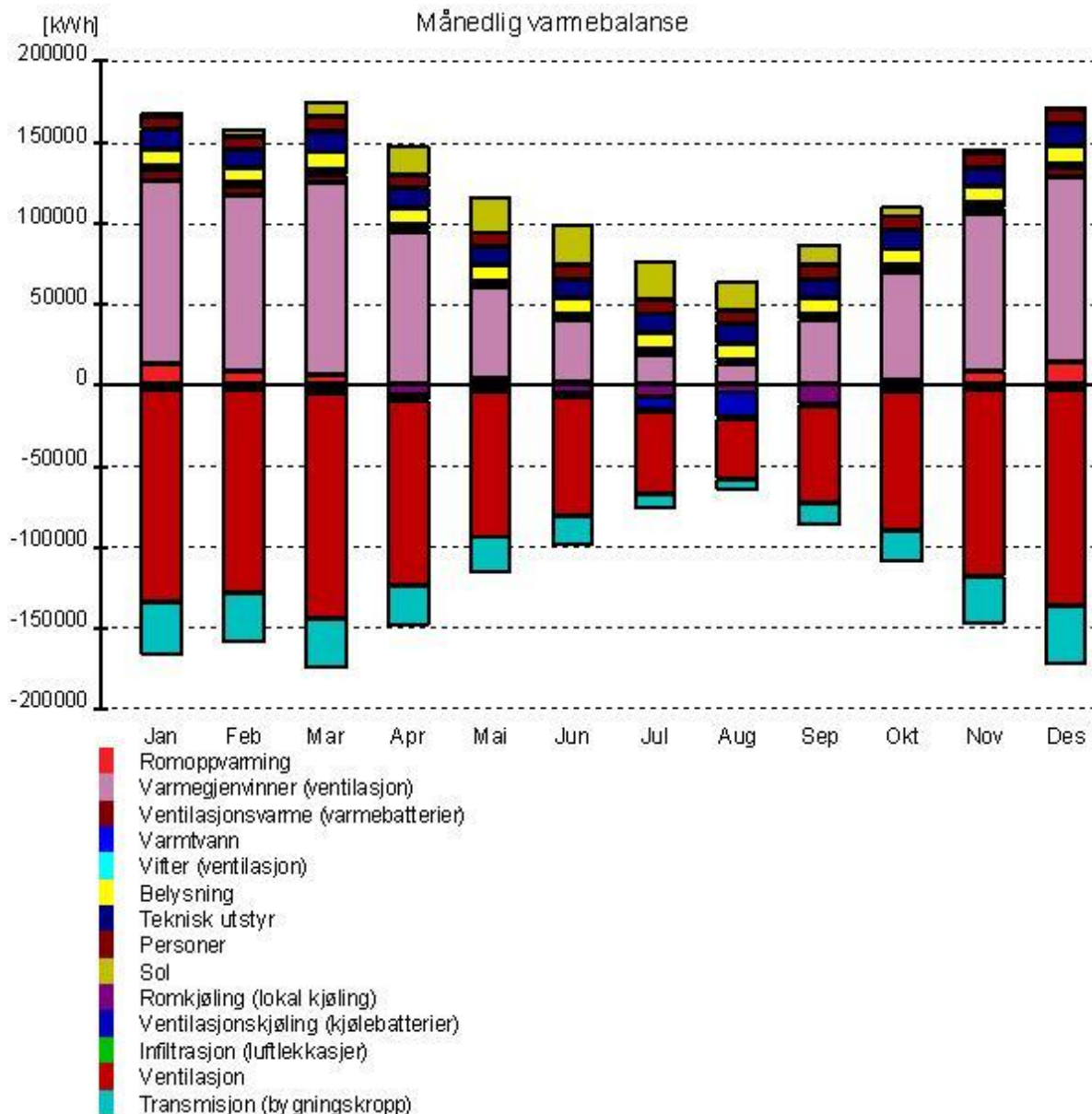
Årlige utslipp av CO <sub>2</sub>		
Energivare	Utslipp	Spesifikt utslipp
1a Direkte el.	161683 kg	19,5 kg/m <sup>2</sup>
1b El. Varmepumpe	11525 kg	1,4 kg/m <sup>2</sup>
1c El. solenergi	990 kg	0,1 kg/m <sup>2</sup>
2 Olje	0 kg	0,0 kg/m <sup>2</sup>
3 Gass	0 kg	0,0 kg/m <sup>2</sup>
4 Fjernvarme	12716 kg	1,5 kg/m <sup>2</sup>
5 Biobrensel	0 kg	0,0 kg/m <sup>2</sup>
6. Annen ()	0 kg	0,0 kg/m <sup>2</sup>
Totalt utslipp, sum 1-6	186914 kg	22,5 kg/m <sup>2</sup>

For å finne ut når det er størst varme- og kjølebehov simulerer man en månedlig fordeling av netto energibehov. Energibehovet er illustrert som et søylediagram med forskjellige farger for hver brukskilde. Man ser ut fra diagrammet (figur 4.3) at det er størst energibehov i de varmeste sommermånedene. Da brukes det mye energi til romkjøling og ventilasjonskjøling. Neste forbrukstoppen er i desember da en stor del av energien går til romoppvarming. Tappevann, vifter, belysning og teknisk utstyr krever konstant energitilskudd året rundt.



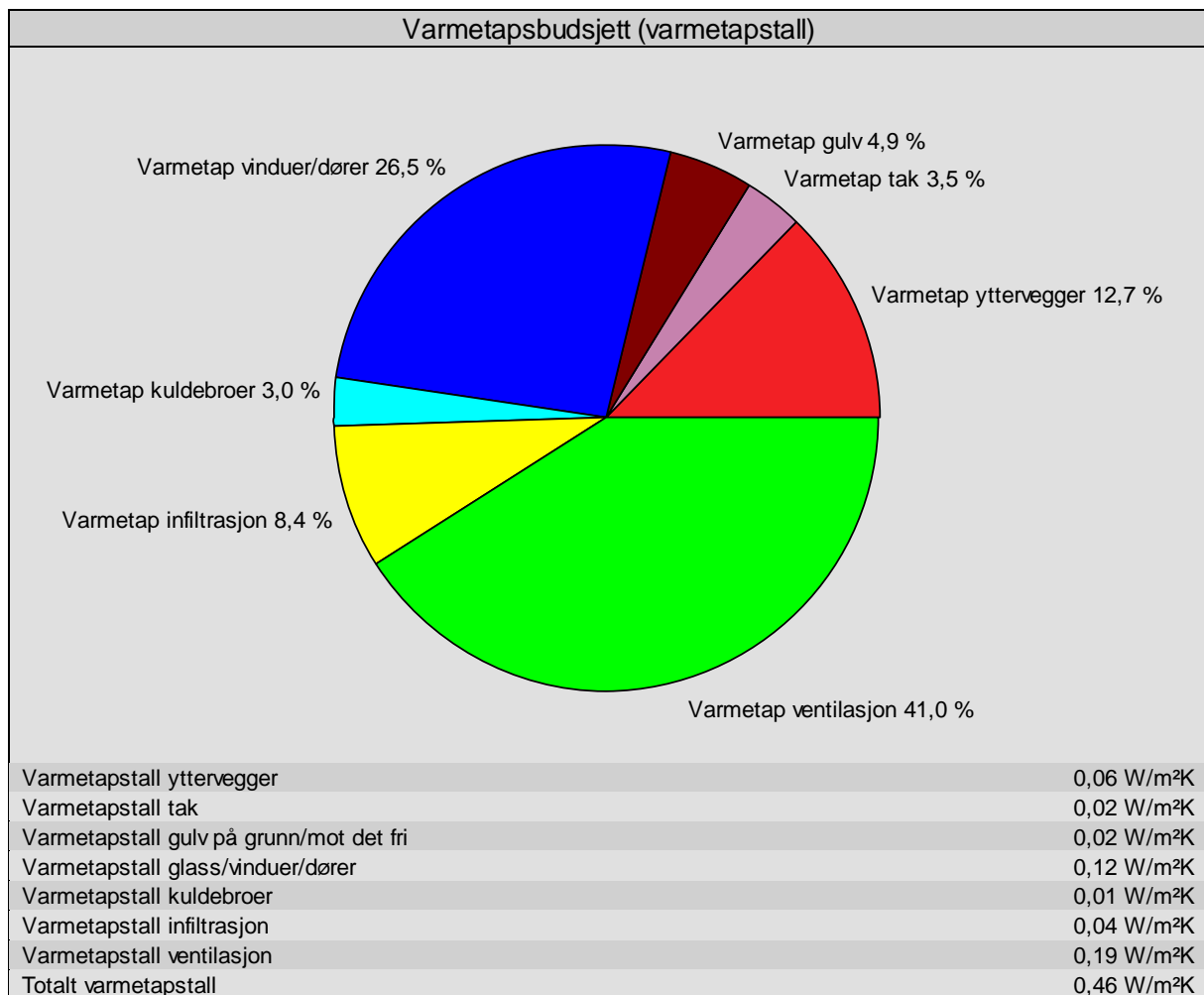
Figur 4.3 Månedlig netto energibehov (referanseprosjekt)

Basert på forutsetningene i forhold til temperatur, termisk konduktivitet og stråleverdier, kan varmebalansen i romluften regnes ut ved hjelp av et ligningssett. Forutsatt at alle påvirkninger er konstante i tidsperioden kan ligningssettet løses analytisk i form av en differensialligning. Simien simulerer dette og gir ut følgende månedlige varmebalanseoversikt.



**Figur 4. 4 Månedlig varmebalanse (referanseprosjekt)**

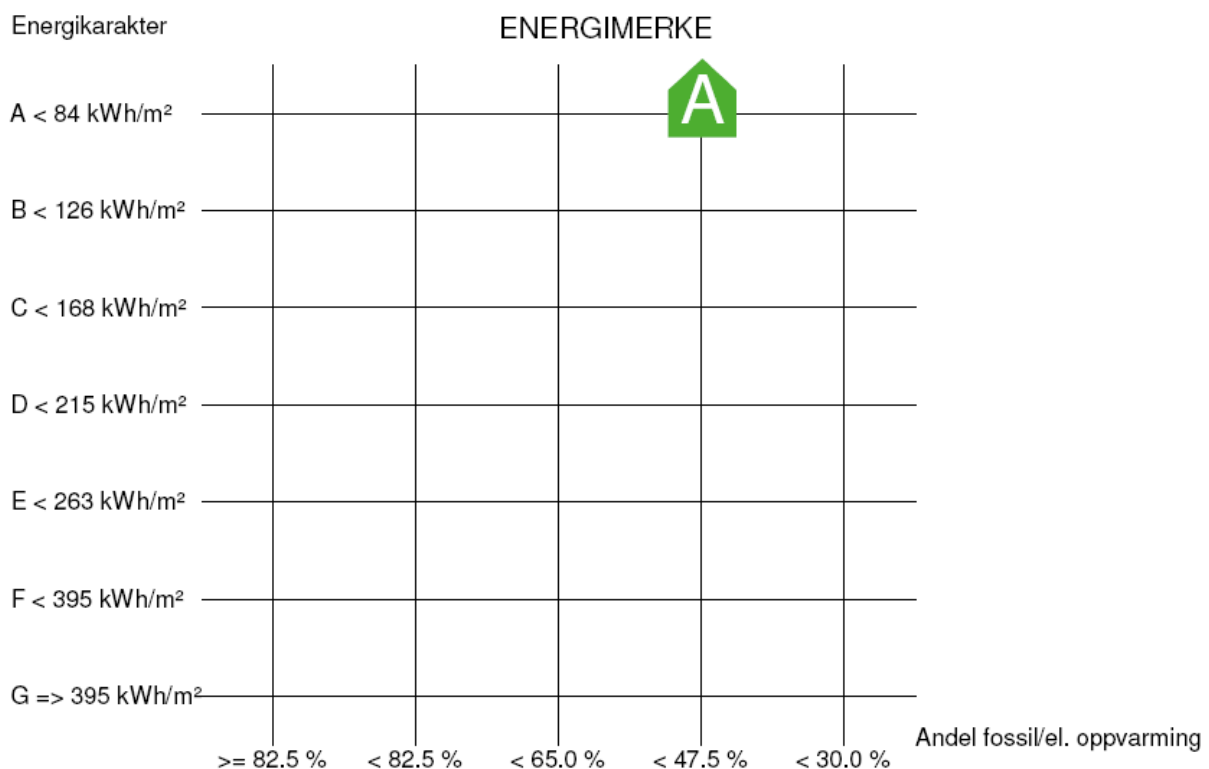
For å finne bygningens varmetapstall setter man opp et varmetapsbudsjett (se figur 4.5). Beregningene av varmetap er utført i henhold til NS3031:2007, og opp imot kravene for varmetapstall i Prosjektrapport 42. Varmetapsbudsjettet viser en komponentvis fordeling av varmetap. Det totale varmetapstallet er  $0,46 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Dette er godt under kravet for maksimalt varmetap på  $0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ . De største tapene kommer fra ventilasjon, vinduer/dører, yttervegger, med henholdsvis 41 %, 26,5 % og 12,5 % av varmetapet.



**Figur 4.5** Varmetapsbudsjett med varmetapstall (referanseprosjekt)

#### 4.1.2 ENERGIMERKING

En energimerkesimulering i Simien beregner hvilken energikarakter og energimerke bygget får. Målet for bygget er energimerke A. Det blir som nevnt tidligere gitt en bokstavkarakter basert på hvor lavt behovet for levert energi er. For å nå målet er det nødvendig med beregnet levert energi normalisert klima på under 84 kWh/m<sup>2</sup>. Det blir også gitt en fargekarakter basert på hvor stor andel av oppvarming som stammer fra elektrisitet, olje og gass. Energimerkesimuleringen gir følgende resultater: Andel elektrisitet er 31,2 % av levert energi. Dette gir den nest beste fargemerket, lysegrønn. Med beregnet levert energi på 83 kWh/m<sup>2</sup> gir dette bokstavkarakteren A.



Beregnet levert energi normalisert klima: 83 kWh/m<sup>2</sup>  
Sum andel el/olje/gass av netto oppvarmingsbehov: 31.2 %

Beregnet levert energi	
Beskrivelse	Verdi
Energibruk normalisert klima	83 kWh/m <sup>2</sup>
Energibruk lokalt klima	76 kWh/m <sup>2</sup>

**Figur 4. 6** Energimerke (referanseprosjekt)



### 4.1.3 PASSIVHUSEVALUERING

For å bekrefte at bygget har fulgt de fastsatte regler og krav for å bli kategorisert som passivhus må det gjennomføres en passivhusevaluering. Evalueringen vil automatisk sjekke det planlagte bygget opp i mot reglene. Beregningene er utført i henhold til kravene i Prosjektrapport 42, med validerte dynamiske timesberegninger i henhold til NS3031.

**Tabell 4.3 Passivhusevaluering (referanseprosjekt)**

Resultater av evalueringen	
Evaluering mot passivhusstandarden	Beskrivelse
Varmetapsramme	Bygningen tilfredstiller kravet for varmetapstall
Energiramme	Bygningen tilfredstiller krav til energibruk
Minstekrav	Bygningen tilfredstiller minstekrav til enkeltkomponenter
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredstiller minstekrav gitt i prosjektrapport 42 (tabell 2)
Samlet evaluering	Bygningen tilfredstiller alle krav til passivhus

Som resultatene i tabell 4.3 viser, oppfyller bygget krav til netto oppvarmingsbehov, netto kjølebehov, CO<sub>2</sub>-utslipp, minstekrav enkeltkomponenter og varmetapstall.

Minstekrav enkeltkomponenter ligger innenfor kravene med rimelig god margin. Ut ifra følgende tabell ser man hva den totale u-verdien er for de forskjellige bygningskomponentene. Det er tydelig at det holdes høyt fokus på kuldebroer. Med beregnet normalisert kuldebroverdi på 0,01 innfris kravet med ca 67 %. U-verdi for vinduer og dører er på 0,65. Dette er meget lavt, hele 0,15 under passivhuskravet.

**Tabell 4.4 Minstekrav enkeltkomponenter (referanseprosjekt)**

Minstekrav enkeltkomponenter		
Beskrivelse	Verdi	Krav
U-verdi yttervegger [W/m <sup>2</sup> K]	0,14	0,15
U-verdi tak [W/m <sup>2</sup> K]	0,10	0,13
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m <sup>2</sup> K]	0,13	0,15
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m <sup>2</sup> K]	0,65	0,80
Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]	0,01	0,03
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	85	80
Spesifikk vitteeffekt (SFP) [kW/m <sup>3</sup> /s]:	1,50	1,50
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	0,50	0,60

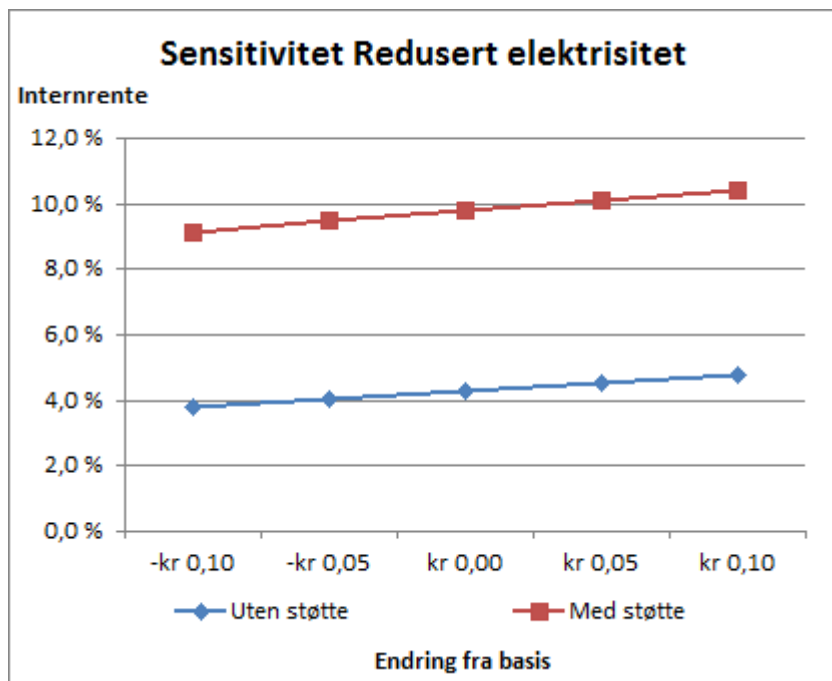
## 4.2 LØNNSOMHETSBEREGNINGER

Enovas investeringskalkulator krever følgende inndata; investeringskostnader, økonomisk levetid, inntekter fra energileveranser, drifts- og vedlikeholdskostnader og finansiering. Med disse inndataene beregner programmet internrente, netto nåverdi med og uten Enovastøtte, inntjeningstid og energiresultat. Se vedlegg C for detaljerte inndata fra investeringskalkulatoren.

**Tabell 4.5 Nøkkeltall lønnsomhetsanalyse (referanseprosjekt)**

Internrente med Enovastøtte	9,8 %
Internrente uten Enovastøtte	4,3 %
Netto nåverdi med Enovastøtte	kr 700 211
Netto nåverdi uten Enovastøtte	kr -2 092 323
Inntjeningstid med Enovastøtte	17,1 år
Inntjeningstid uten Enovastøtte	Ikke inntjent
Energiresultat (kWh/støttekrone)	0,22

Sensitivitetsanalysen illustrert i figur 4.7 viser hvor mye internrenten endrer seg ved forandring i energipris.



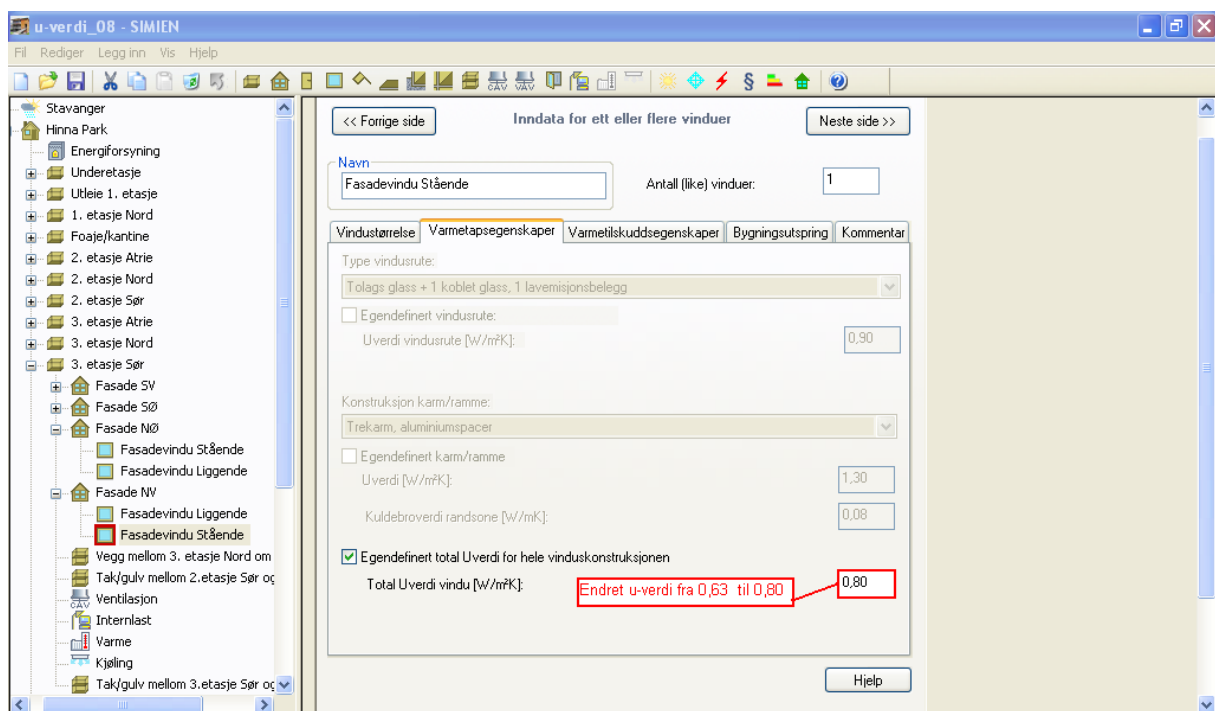
**Figur 4.7 Sensitivitetsanalyse (referanseprosjekt)**

## 4.3 LØNNSOMME TILTAK

For å forsøke å få ned kostnadene foreslås noen tiltak. Målet med disse tiltakene er å få ned investeringsutgiften, driftskostnadene eller total kostnadene slik at prosjektet blir mer lønnsomt. Rammen for tiltakene er at bygget fortsatt skal kunne klassifiseres som passivhus med grønt energimerke og energiklasse A. I tillegg skal byggets bygningskropp, ventilasjonsanlegg og kjøleanlegg være uforandret. Det er utført tiltak på bygningskomponenter, energiforsyning og tekniske løsninger.

### 4.3.1 TILTAK 1 – ØKE U-VERDIEN I VINDUENE TIL 0,8

Det første tiltaket for å få ned nåverdien til prosjektet, er å endre vindustypen. Jeg ønsker å vurdere lønnsomheten med å benytte vinduer med u-verdi 0,8, som oppfyller komponentminstekravet for passivhusstandard. For å finne nåverdi, internrente og inntjeningstid, må først investeringskostnaden og energiforbruket beregnes. Årssimulering i Simien er brukt for å finne energiforbruk. Før simuleringen kunne kjøres måtte u-verdien forandres på hvert enkelt vindu i bygget. Man må da gå inn i mappene for hver etasje, himmelretning, fasade, og deretter forandre u-verdi for hvert enkelt av byggets 181 vinduer.



Figur 4. 8 Screenshot av u-verdiendring i Simien (tiltak 1)

Ved å øke u-verdien i alle byggets 181 vindu fra 0,63 til 0,8 vil man fortsatt være innenfor passivhuskravene, og man vil redusere investeringsutgiften. En følge av dette er at beregnet levert energi vil øke. Energimerkeberegninger fra Simien viser at økningen er akseptabel, da energibruk normalisert klima øker til 84 kWh/m<sup>2</sup>, noe som akkurat innfrir kravene til klasse A bygg. Forventet levert energi vil etter normalisert klima være 694.839 kWh med disse vinduene.

Prisoverslag fra Nordan gir en besparelse på ca 150 000 kr ved å benytte lavenergivindu i stedet for de planlagte passivhusvinduene. Vinduene som er mottatt tilbud på er av type Nordan NTech fast karm 1488 mm\*2888 mm, både stående og liggende. (se vedlegg E)

Resultatene fra årssimulering viser at energikutgiftene vil øke med ca 5 300 kr i året. Vinduer med u-verdi 0,63 gir en årlig energikostnad på 400 159 (se tabell 4.1 under pkt 4.1.1), mens ved å bruke vinduer med u-verdi på 0,8, vil årlig energikostnad komme på 405 493 kr.

**Tabell 4. 6 Kostnad kjøpt energi (tiltak 1)**

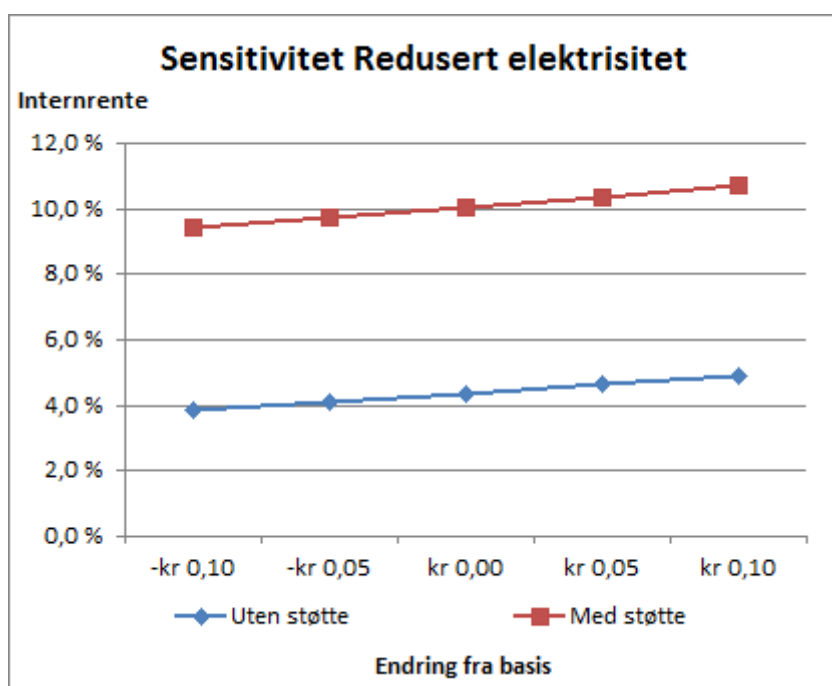
Energivare	Kostnad kjøpt energi	
	Energikostnad	Spesifikk energikostnad
1a Direkte el.	335478 kr	40,4 kr/m <sup>2</sup>
1b El. Varmepumpe	27613 kr	3,3 kr/m <sup>2</sup>
1c El. solenergi	2036 kr	0,2 kr/m <sup>2</sup>
2 Olje	0 kr	0,0 kr/m <sup>2</sup>
3 Gass	0 kr	0,0 kr/m <sup>2</sup>
4 Fjernvarme	40366 kr	4,9 kr/m <sup>2</sup>
5 Biobrensel	0 kr	0,0 kr/m <sup>2</sup>
6. Annen ()	0 kr	0,0 kr/m <sup>2</sup>
Årlige energikostnader, sum 1-6	405493 kr	48,9 kr/m <sup>2</sup>

Investeringskalkulatoren fra Enova vil med de nye inndataverdiene gi en internrente på 4,4 % og en netto nåverdi på -2 012 662 kr. Dette er en økning av internrenten på 0,1 % i fra før dette tiltaket, og nåverdien har bedret seg med ca 80 000 kr. Enovastøtten vil ikke endre seg da den er et produkt av oppvarmet bruttoareal (8 298 m<sup>2</sup>) multiplisert med den fastsatte støtten for nye yrkesbygg. **ENOVASTØTTE: 8 298 M<sup>2</sup> \* 350 KR/ M<sup>2</sup> = 2 904 300 KR**

**Tabell 4. 7 Nøkkeltall lønnsomhetsanalyse (tiltak 1)**

Internrente med Enovastøtte	10,1 %
Internrente uten Enovastøtte	4,4 %
Netto nåverdi med Enovastøtte	kr 781 769
Netto nåverdi uten Enovastøtte	kr -2 012 662
Inntjeningstid med Enovastøtte	16,3 år
Inntjeningstid uten Enovastøtte	Ikke inntjent
Energiresultat (kWh/støttekrone)	0,22

Figur 4.9 illustrerer en sensitivetsanalyse som viser hvor mye internrenten endrer seg ved forandring i energipris.

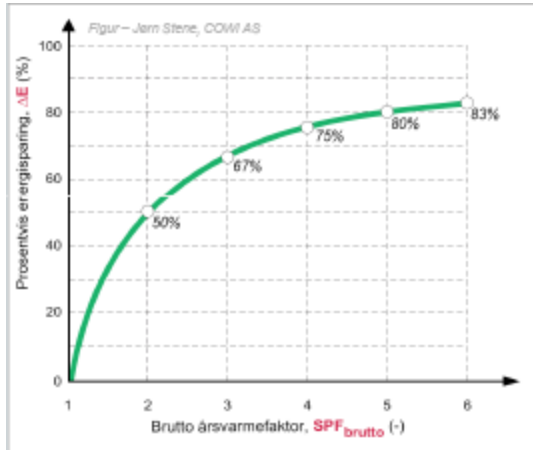


**Figur 4. 9 Sensitivitet Redusert elektrisitet (tiltak 1)**

#### 4.3.2 TILTAK 2 – BYTTE TIL BERGVARMEPUMPE

Bergvarmepumpe vil gi en høyere investeringsutgift enn luft-vann varmepumpe, men er samtidig mer effektiv. Energibesparelse ( $\Delta E$ ) i forhold til årsvarmefaktor (SPF) illustreres med følgende eksempel. Grafen (figur 4.10) viser hvor stor prosentvis energibesparelsen vil være

ved å benytte varmepumpe med forskjellige årsvarmefaktorer. Beregningene for luft-vann varmepumper, og bergvarmepumper er vist til høyre under. Ved å endre fra luft-vann varmepumpe med SPF 2,7 til bergvarmepumpe med SPF 3,3 vil energibehovet reduseres med ca 6,74 %. [1]



$$\Delta E_{\text{luft-vann}} = 62,96 \%$$

$$\Delta E_{\text{berg}} = 69,70 \%$$

$$\Delta E_{\text{berg}} - \Delta E_{\text{luft-vann}} = 6,74 \%$$

**Figur 4.10** Prosentvis energisparing ved ulike årsvarmefaktor [1]

Forskjellen på luftbaserte varmepumper og bergvarmepumper er blant annet stabiliteten på temperaturen. Luftbaserte varmepumper som tar varme fra uteluften og varmer opp vann vil slite med at varmebehovet er størst når utelufttemperaturen er lavest. Det er stor temperaturvariasjon i fyringssesongen. Dette gir større belastning på anlegget, noe som fører til kortere levetid. Ofte er ikke aggregatene utformet for norsk klima. For eksempel vil

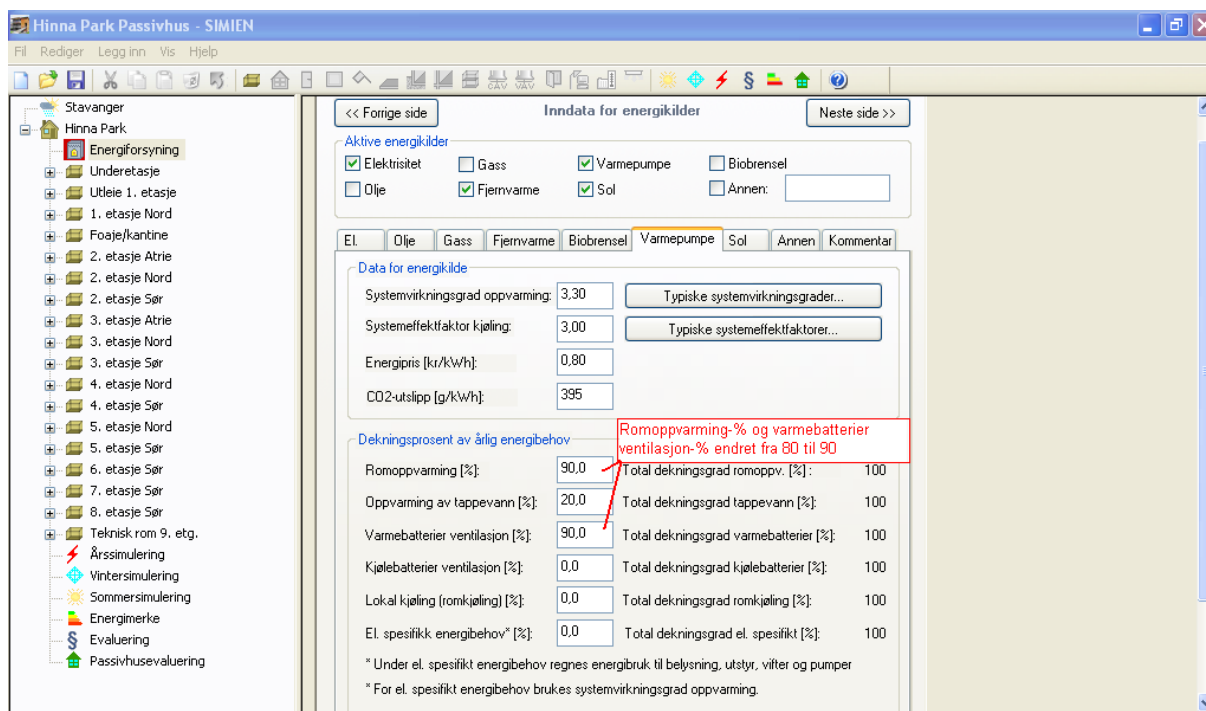


de ha behov for avriming når utetemperaturen er lavere enn 3 °C. Avrimingsystemet er dessuten ofte for dårlig. [1] Bergvarmepumper utnytter varmen som er lagret i fjellet. Dette er den vanligste formen for grunnvarme. Hvor mye varmemengde som kan hentes ut kommer an på mengden av grunnvann i berggrunnen. Energiforbruket og grunnvannstanden der bygget står avgjør hvor dypt det må bores. 10 meter ned i berggrunnen og dypere ligger temperaturen ca på én grader varmere enn årsmiddeltemperaturen for området. [41]

**Figur 4.11** Illustrasjon av bergvarmepumpe [41]

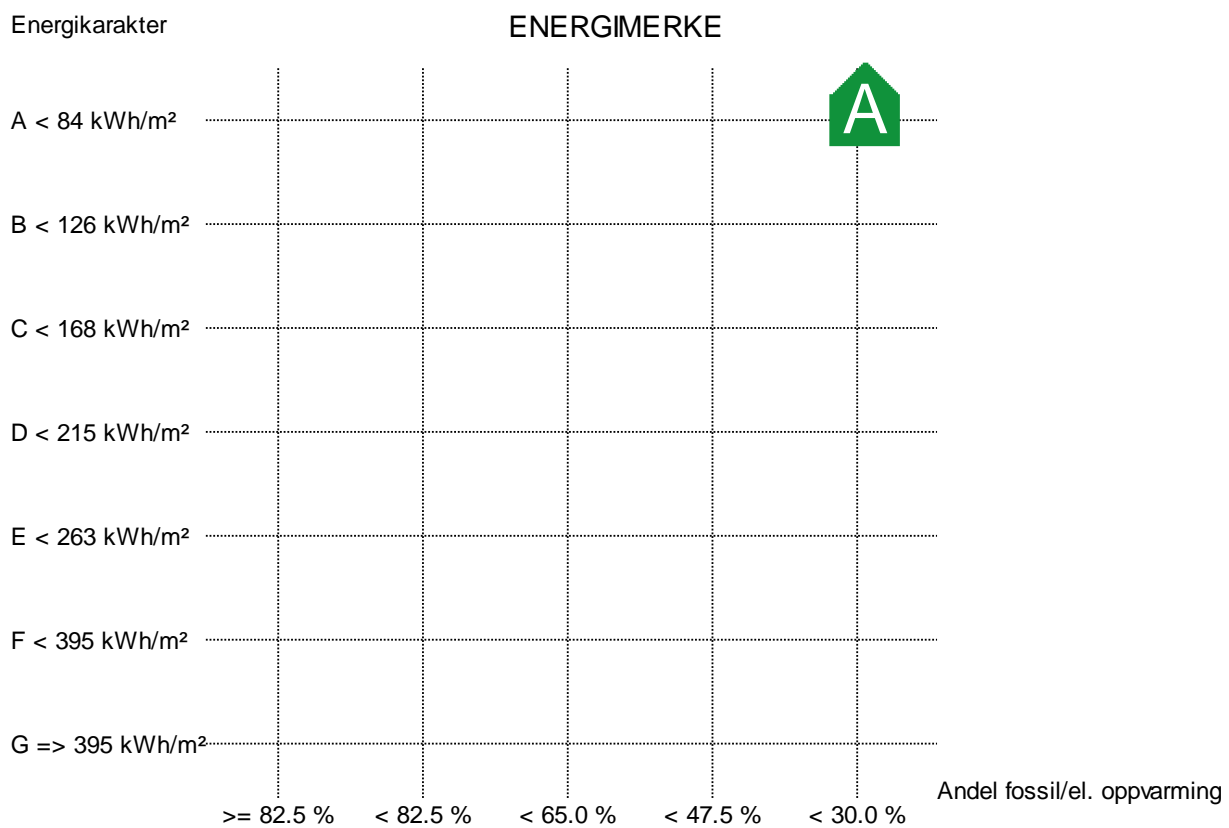
Bruk av bergvarmepumpe vil føre til en betydelig investeringsutgift. Varmeopptakssystemet med kollektorrør og boring er meget kostbart i forhold til andre løsninger. I oppgaven er utgiftene og innsparingene ved bruk av bergvarme nøye gått gjennom. Energibehovet kommer frem gjennom Simienberegninger. Videre er dette brukt sammen med oppgitte kostnader fra leverandør, og en lønnsomhetsanalyse er utført.

Som illustrert i figur 4.12 er romoppvarmingsprosenten og prosentandel av varmebatterier ventilasjon endret fra 80 til 90 %. De nevnte prosentandelene reduseres fra 18 til 8 % for fjernvarme. Samtidig er systemvirkningsgraden for oppvarming endret fra 2,7 til 3,3 i tråd med NVEs varmepumperapport. [42] Utgangspunktet for disse endringene er samtaler med eksperter og personer med høy kompetanse på området. Se siste tabell i vedlegg D for inndataverdier brukt i Simien for tiltak 2.



Figur 4. 12 Screenshot fra Simien (endring varmepumpe)

Tiltaket ved å endre type varmepumpe vil redusere andel elektrisitet/olje/gass av netto oppvarmingsbehov til 27,1 % (Se figur 4.13). Dette fører til at oppvarmingskarakteren vil endre seg fra lysgrønn til grønn. Grønt energimerke A er den beste karakteren en bygning kan få.

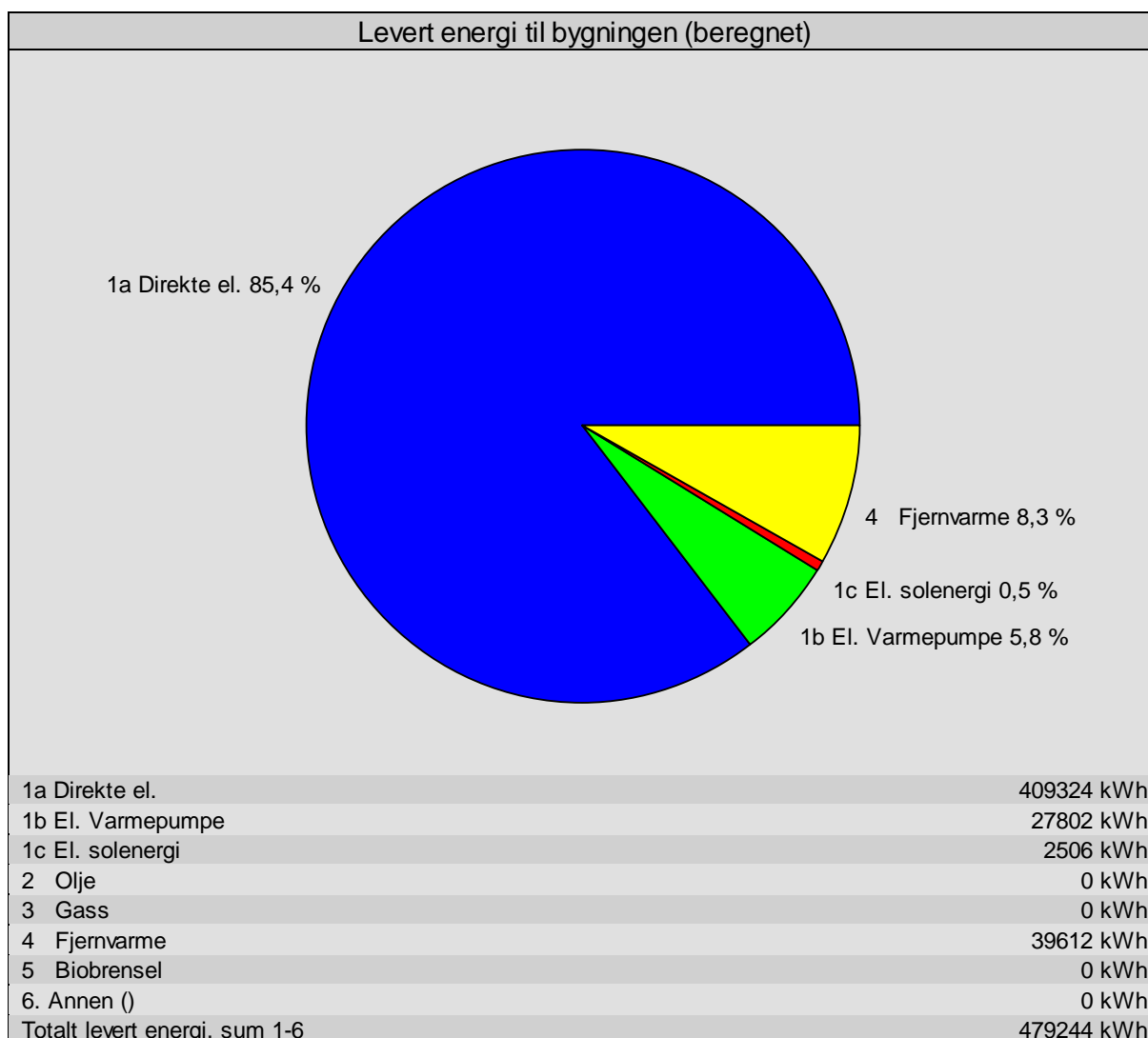


Beregnet levert energi normalisert klima: 81 kWh/m<sup>2</sup>  
Sum andel el/olje/gass av netto oppvarmingsbehov: 27.1 %

**Figur 4. 13 Energimerke (tiltak 2)**

Energibehovet vil ikke endre seg med dette tiltaket. Totalt netto energibehov vil fortsatt være 615 920 kWh. Tiltaket vil føre til endring i levert energi til bygningen (se figur 4.14). Totalt levert energi vil nå være 479 244 kWh. Dette er en reduksjon på 16 811 kWh i forhold til bruk av luft-vann varmepumpe. Behovet for kjøpt fjernvarmeenergi reduseres med 15 436 kWh, og elkraftbehovet reduseres med 1376 kWh.





**Figur 4. 14 Levert energi til bygningen (tiltak 2)**

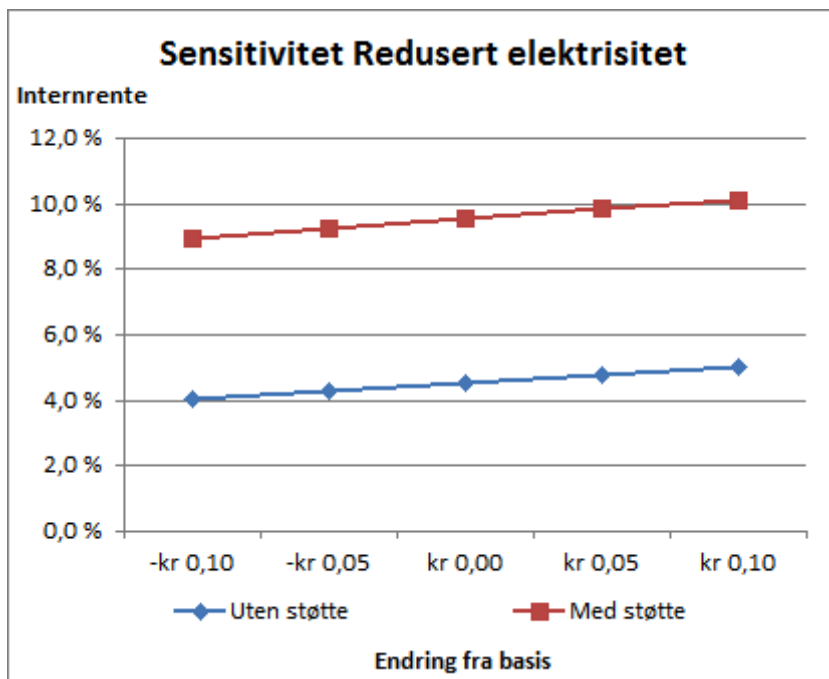
Disse endringene vil føre til økonomiske besparelser. Det er utført en investeringsanalyse for bygget etter nødvendige endringer. AC Senteret kan levere en fullstendig pakkedøsning som inkluderer boring, installering og nødvendig utstyr. Ut ifra energiberegninger i Simien dimensjoneres det til en 28,8 kW bergvarmepumpe. Prisen for en pakkedøsning med en slik varmepumpe er 300 000 kr. Hvis bergvarmepumpen brukes riktig er vedlikeholdskostnadene meget små. Det legges til grunn at kun sirkulasjonspumpen vil slites i løpet av levetiden, og derfor vil det holde med 5 000 kroner i vedlikeholdsutgifter per 20 år. Bergvarmepumpen vil normalt vare minst 20 år, men kan vare enten lengre eller kortere alt etter hvilken slitasje den blir utsatt for. Det er derfor regnet med 20 års levetid i denne beregningen. Enovas

investeringskalkulator er også brukt i dette tilfellet. Ved å endre energibehovene, investerings- og vedlikeholdsutgiftene, og varmepumpens levetid er resultatene som følger.

**Tabell 4. 8 Nøkkeltall lønnsomhetsanalyse (tiltak 2)**

Internrente med Enovastøtte	9,5 %
Internrente uten Enovastøtte	4,5 %
Netto nåverdi med Enovastøtte	kr 659 492
Netto nåverdi uten Enovastøtte	kr -2 129 446
Inntjeningstid med Enovastøtte	18,6 år
Inntjeningstid uten Enovastøtte	Ikke inntjent
Energiresultat (kWh/støttekrone)	0,23

Sensitivetsanalysen i figur 4.15 viser forandringen i internrenten ved endring i energipris.



**Figur 4. 15 Sensitivetsanalyse (tiltak 2)**

Resultatene vil være negative i dette tilfellet også, dersom det ikke gis Enovastøtte. Med Enovastøtte derimot vil internrenten være 9,5 %, netto nåverdi 659 492 kr og inntjeningstiden vil være 18,6 år. Ut ifra disse beregningene vil jeg ikke uten videre anbefale bergvarmepumpe. Endringen fra beregningene gjort med luft-vann varmepumpe er ikke

store, men negative. Internrenten har gått ned fra 9,8 % til 9,5 %. Nåverdien er ca 40 000 kr mindre for løsningen med bergvarme, og inntjeningstiden har økt med halvannet år. I følge varmpumpeleverandøren er oppgitte systemvirkningsgrad satt for lavt. I følge dem er det mulig å regne med en systemvirkningsgrad som er 3,4. Dette er 0,1 høyere enn det som er brukt i mine beregninger, og vil gi bedre resultater. Det kan også være mulig å redusere utgiftene til service, drift og vedlikehold, men grunnet gitte forutsetninger har jeg ikke endret disse kostnadene. En annen sak som taler for bruk av bergvarmepumpe er at hvis man følger forslaget mitt i forhold til andel gjenvinnbar energi, vil bygningen bli kategorisert som passivhus med energimerke grønn A.

### 4.3.3 SAMMENLIGNING AV TILTAK OG LØSNINGER

Tabell 4.9 Sammenligning av tiltak og løsninger

	Referanseprosjekt	Tiltak 1 <i>Vindu med u-verdi 0,8</i>	Tiltak 2 <i>Bergvarmepumpe</i>
Internrente med Enovastøtte	9,80 %	10,10 %	9,50 %
Internrente <u>uten</u> Enovastøtte	4,30 %	4,40 %	4,50 %
Netto nåverdi med Enovastøtte	kr 700 211	kr 781 769	kr 659 492
Netto nåverdi <u>uten</u> Enovastøtte	kr -2 092 323	kr -2 012 662	kr -2 129 446
Inntjeningstid med Enovastøtte	17,1 år	16,3 år	18,6 år
Inntjeningstid <u>uten</u> Enovastøtte	Ikke inntjent	Ikke inntjent	Ikke inntjent
Energieresultat [kWh/støttekrone]	0,22	0,22	0,23
Netto Energiforbruk	615 920 kWh	627 826 kWh	615 922 kWh
Leverert energi	496 055 kWh	503 847 kWh	479 244 kWh
Energimerke	Lys grønn A	Lys grønn A	Grønn A

Tiltakene vil ikke utgjøre de store forskjellene. Det legges imidlertid merke til at Tiltak 2 fører til Energimerke Grønn A. Selv om investeringsutgiftene for bergvarmepumpe er betydelig høyere, vil det spares inn på energiutgiftene. Dette tatt i betraktning vil tiltak 2 fortsatt resultere i en litt lavere nåverdi. Tiltak 1 gir det beste resultatet med tanke på lønnsomhet i prosjektet. Dette tiltaket vil føre til hurtigere inntjeningstid, høyere internrente og høyere nåverdi. Uten Enovastøtte vil nåverdien for alle løsningene være negativ, og dermed vil ikke tiltakene tjenes inn.

## DEL 5 DISKUSJON

### 5.1 UTFORDRINGER MED PASSIVHUS I NORGE

Den nødvendige teknologien for å bygge passivhus i Norge er tilgjengelig. Det er allerede bygd flere tusen passivhus i Norge, men de fleste er innenfor boligbygg. Det er bygd noen skoler og barnehager, men det fins knapt ett eksempel på kontorbygg bygd som passivhus. Utenfor Norge, særlig i Tyskland og Østerrike, bygges det passivhus for de fleste bygningskategoriene. Andre steder i verden bygges det også "nullenergibygg". Det vil si bygg som ikke har behov for noe eksternt tilført energi, men produserer all nødvendig energi selv. En utfordring som ligger på yrkesbygg i forhold til boligbygg er de store internlastene som fører til økt energibruk. En annen utfordring er å opprettholde tilfredsstillende komforttemperatur, spesielt på varme dager. Dette medfører et kjølebehov som trenger innovative løsninger for å bli optimalt redusert.[43]

Av tilgjengelig teknologi vil jeg nevne det mest sentrale. Flere vindusprodusenter produserer egne passivhusvinduer med u-verdier ned mot 0,6. Det fins også dører på markedet som er sertifisert for passivhus. Krav til tetthet og isolasjon oppnås ved vanlig dampsperre, vindsperre og isolasjon. Det fins mange forskjellige ventilasjonssystemer i dag og mange produsenter kommer med innovative produkter som fungerer og gir meget lav SFP (spesifikk vifteeffekt). Flere ventilasjonsvarmegjenninnere har en typisk årsvirkningsgrad rundt 90 %. Som en følge av TEK07 har produktene innenfor varmegjenvinning utviklet seg til det bedre. For å utnytte teknologien som fins i disse bygningene brukes det behovsstyringsteknologi. Dette omfatter all formålsavhengig energibruk, slik som belysning, utstyr, varme- og kjølestyring etter bruksmønster og solavskjerming. Denne teknologien reduserer byggets energibruk betraktelig og gir mulighet for å hente ut historisk bruksdata. Informasjonen kan hjelpe og fortelle hvor effektivt bygningen utnyttes og hvordan man videre kan optimalisere bruken ytterligere. Det ligger derimot en utfordring med å utnytte behovsstyringsteknologien som er tilgjengelig. [43]

Installert oppvarmings- og kjøleeffekt i konvensjonelle yrkesbygg ligger ofte mellom 100-200 W/m<sup>2</sup>. Tallet kan reduseres med ca 50 til 90 % for passivhus. Dette åpner muligheten for en betydelig kostnadsreduksjon i varme- og kjøleanlegget, både fra produksjon, distribusjon,

akkumulering og angivelse. Med dagens teknologi for vannbåret system er det mulig, men det mangler spesielt tilpassede løsninger for yrkesbygg. Noe som igjen vil føre til ekstra kostnader og detaljprosjektering. De forenklede løsningene som er tilgjengelig på markedet er først og fremst siktet mot boligbygg. [44]

Alternativet til vannbåret system er å bruke ventilasjonsanlegget til kjøling og oppvarming. Det forskes på bruk av overtemperaturer på innblåsingluft i disse systemene, men dette bør utredes videre for de forskjellige bygningskategoriene før det kan utnyttes i større grad i den fremtidige bygningsmasse. Det er også kjent at for høye tilluftstemperaturer medfører økte materialeemisjoner fra overflatematerialer i bygningen, men virkningen av dette er ikke godt nok dokumentert for norske byggematerialer. [43]

Passivhus er et nytt fagfelt i Norge, og foruten om de tekniske løsningene, følger det en del utfordringer i forhold til kompetanse, krav til håndverktørførelse, variert klima, økt investering og arkitektoniske rammebetingelser. Investeringskostnaden er høyere for passivhus, da de krever mer og dyrere materialer og tekniske løsninger som er kostbare. Erfaringstall antyder at ekstra byggekostnader ligger i området 0-10 %. For at det skal være lønnsomt å bygge passivhus må det derfor være investeringsvilje blant kjøperne. [32]

Passivhus har eksistert i Østerrike og Tyskland i siden 90-tallet, men erfaringen herfra kan bare delvis brukes som bakgrunn i Norge der klimaet er annerledes. Temperaturer, fukt- og vindforhold spiller inn i stor grad. Økning av isolasjonstykkelse vil skape tre fukttekniske utfordringer.

Det vil være høyere relativ fuktighet og lavere temperaturer i konstruksjonens yttersjikt under stasjonære forhold. Energitilførselen for å tørke ut byggfukt og fukt etter slagregn vil være mindre. Større temperaturvekslinger ved inn- og utstråling vil gi utvendige overflater større fuktpåkjenninger fra ekstrem uttørking til ekstrem avkjøling med frost.[43] Derfor må de tekniske løsningene modifiseres og optimaliseres i forhold til det harde klimaet Norge har. Dette blir tatt hensyn til i de nye norske standardene. Feil bruk av vind- og dampspærre vil kunne føre til fuktproblemer, derfor vil det være spesielt viktig med riktig prosjektering. På grunn av lang tørketid for konstruksjonen er det viktig ikke å bygge inn fukt i konstruksjonene. Dette unngås ved å bruke værbeskyttelse som telt ved bygging.

Mange bekymrer seg over kompetansenivået i forhold til passivhus. Passivhus krever planleggere, entreprenører og håndverkere med forståelse for kritiske løsninger, slik som tetthet, kuldebroer og tekniske installasjoner. Et nytt fagfelt trenger opplæring og erfaring. Entreprenører, boligprodusenter og byggmestere som kan levere og bygge passivhus vil være et kvalitetsstempel, slik man kan se i Mellom-Europa. [32]

De siste årene har lavenergibygg og passivbygg hatt en stor økning, noe som har bidratt til kompetanseheving i byggenæringen. Da det fortsatt er få fullførte prosjekter er det stort sett hos rådgivere og arkitekter kompetansen ligger, mens det antas at utførende henger etter på dette området da erfaringspektret fortsatt er snevert for dem. [43]

For å få opp kunnskaps- og kompetansenivået gjennomføres det kurs og universitetsfag om passivhus. NTNU er det ledende norske universitetet innenfor tekniske fag, og tilbyr fag om bygging og prosjektering av passivhus. NTNU, Sintef, Enova og Husbanken arrangerer Etter- og videreutdanningskurs (EVU-kurs) om passivhus flere ganger i året. [45]

En av utfordringene som ligger for arkitektenes del, er de arkitektoniske rammebetingelsene som settes på grunn av kompakthet, energieffektiv planløsning, fasadeutforming, bruk av materialer og vinduer. Så lenge rammebetingelsene er satt tidlig i planleggingsfasen vil dette ses mer på som en utfordring enn et problem. [32]

I reguleringsbestemmelser som setter grenser for ekstra isolering utover, vil store isolasjonstykkelser som dagens passivhus krever, føre til redusert utnyttbart areal. Kostnadene ved dette kan være betydelig. Tabell 5.1 viser størrelsesordenen på BRA-reduksjonen tykkere vegg vil medføre. Tabellen refererer til bygg med kvadratisk grunnflate og et gitt antall etasjer.

**Tabell 5. 1 Reduksjon av BRA i forhold til utnyttbart areal**

Utvendig grunnflate	BRA ved TEK'07 (U=0,18 W/m <sup>2</sup> K, 300 mm vegg)	BRA ved Passivbygg (U=0,12 W/m <sup>2</sup> K, 500 mm vegg)	Reduksjon	%- reduksjon
100 m <sup>2</sup> , 1 etg. bolig	88 m <sup>2</sup>	81 m <sup>2</sup>	7 m <sup>2</sup>	8 %
500 m <sup>2</sup> , 4 etg.	1894 m <sup>2</sup>	1825 m <sup>2</sup>	69 m <sup>2</sup>	4 %
1000 m <sup>2</sup> , 5 etg.	4812 m <sup>2</sup>	4689 m <sup>2</sup>	123 m <sup>2</sup>	3 %

Ut fra tabellen ser man at det salgbare bruksarealet reduseres med 3-8 % i forhold til bygging etter TEK07 standard. Disse eksemplene viser nærmest kubeformede bygninger. Mindre effektiv utforming vil øke arealtapet ytterligere. Forutsatt at salgsprisen for passivhus ikke er betydelig høyere enn hva den er for andre bygninger, vil det reduserte bruttoarealet føre til reduserte salgs- /leieinntekter.

## 5.2 FREMTIDSUTSIKTER

I prosjektrapport 40 er det utført kvalitative vurderinger som foreslår at utviklingen av systemer og komponenter vil redusere kostnadene. Forskerne bak rapporten tror merkostnaden ved bygging av passivhus vil reduseres ytterligere etter hvert som planleggere og utførende blir mer dreven i arbeidet med slike prosjekter. [19] Etter hvert som løsningene og komponentene som brukes i passivhus blir å finne i hyllene hos byggevarehandelen vil prisene gå betraktelig ned.

Det forskes på isolasjonsprodukter med mye bedre isoleringsevne enn konvensjonell isolasjon. For eksempel er vacuumisolasjon kommet på markedet. Denne typen isolasjon er foreløpig alt for dyr og har en del praktiske begrensninger, men har blitt brukt i noen prosjekter. Hvis videre forskning på dette området gir resultater, vil det føre til at man kan benytte tynnere vegger. Dermed vil man spare inn på materialer, og få større innvendig bruksareal. [43]

De økonomiske konsekvensene for byggenæringen vil ikke være neglisjerbar. Siden passivhus trolig vil innføres som forskriftskrav vil ekstrakostnadene påvirke alle utøvere i byggenæringen uniformt. Det er ventet at den gjennomsnittlige byggekostnaden vil øke noe, men ikke mer enn at det vil helt eller delvis utjevne seg mot andre kostnadsbærende tiltak som vil reduseres ved passivhus. For eksempel store glassfasader og eksklusivt overflatematerialer. På grunn av betydelig redusert energibruk vil driftskostnadene for passivhus være vesentlig lavere. Det vil gi rom for utleier å øke leiekostnadene tilsvarende reduksjon i driftsutgiftene, og kjøperne vil være villige til å betale mer ved kjøp av bygningen.[43]

Det forventes at markedsverdien for passivhus vil øke etter hvert som konseptet blir vanligere og mer kjent i Norge. Det antas at byggeier vil komme bedre ut av det i fremtiden i forhold til ordninger som gir byggeier gevinst for besparelsene fra redusert energibruk. Dersom markedsverdien for passivhus ikke blir høyere enn for vanlige bygg kan tilbakebetaling av investeringer løses ved leieavtaler som inkluderer strøm og oppvarming. [43]

Kravene i fremtiden når det gjelder energieffektive bygg trenger ikke stoppe med passivhus. Det er angitt nivåer for enda mer energivennlige bygg i Prosjektrapport 40 og Lavenergiutvalgets rapport. Her er det angitt nivåer for passivhus+ nivå og nullenerginivå. Passivhus+ er passivhus som kun bruker lokal fornybar varmeløseleveranse. Nullenerginivå er der all elektrisitetsproduksjon foregår lokalt og er fornybar. Det skal sies at for boliger er passivhusnivået ansett som et nedre fornuftig nivå. Grunnen til dette er fordi ytterligere tiltak for å redusere energibehov vil kreve store ressurser og vil gi relativt små besparelser. For yrkesbygg er det fortsatt mer å hente når det kommer til energibehovet til kjøling, utstyr og lys. Men gevinsten ved ytterligere tiltak er relativt beskjedne for denne bygningskategorien også.[43]

For å kunne tenke på nullenergibygg vil det være nødvendig å gjøre tiltak innenfor energiforsyning. Dette betyr i praksis at energiproduksjon i form av varme og elektrisitet må foregå lokalt og være fornybar. Både teknologien og løsningene for teknisk å kunne bygge nullenergibygg er kjent i dag, og det er allerede realisert et slikt bygg i Aarhus i Danmark. [46] Løsningene for å bygge slike bygg er meget kostbare i forhold til vanlige passivhus, men det



er forventet en teknologiutvikling på energiproduserende elementer slik at man kan produsere energien lokalt. Eksempel på slike elementer er solceller, minivindturbiner og mikro-kogeneratorer som produserer strøm og varme.[47] Det er også forventet en teknologiøkning på lokal fornybar varme i årene fremover. Utviklingen vil føre til at effektiviteten øker, og prisene for slik teknologi vil reduseres.[43]



**Figur 5.1** Forskriftskravenes utvikling mot nullenerginivå i 2027

Det er forventet en gradvis utvikling for forskriftskravene fremover. På kort sikt (TEK17) er det fornuftig å ha en målsetning om passivhusnivå. Med et perspektiv på ca 20 år frem i tid er nullenerginivå for nye bygg en naturlig målsetning.[3] Dette utviklingsperspektivet samsvarer godt med det reviderte bygningsenergidirektivet lansert av EU-kommisjonen i november 2010. [43]

I 2007 vedtok EU-kommisjonen at innen 2020 skulle energiforbruket i bygg reduseres med 20 %. På bakgrunn av tiltak som ble utført på nasjonale og europeisk nivå frem til 2009 viser beregninger at det kun vil være mulig å oppnå 9 % energireduksjon innen 2020. Disse funnene førte til at en ny avgjørende og koordinert aksjon ble iverksatt. Denne handlingsplanen som inngår i det reviderte bygningsdirektivet vil vise vei for en karbonfri og ressurs-effektiv økonomi innen 2050.[48]

## KONKLUSJON

Kontorbygget i referanseprosjektet har målsetning om å bli et av Norges første kontorbygg bygd som passivhus i henhold til Prosjektrapport 42 med energiklasse A. Det er sett på hvilke tiltak som er planlagt for å redusere netto energibehov og oppfylle kravene. Hvert enkelt tiltak i seg selv vil ikke være bra nok for å oppfylle kravene. Derfor er kombinasjonen av små og store tiltak, sammen med nytenking og ressursutnyttelse viktig for maksimal energieffektivitet uten å sprengte de økonomiske grensene som er satt.

Kontorbyggets energibehov vil dekkes med en kombinasjon av fjernvarme, fjernkjøling, solfangeranlegg og varmepumpe. Oppvarmingsbehovet skal i hovedsak dekkes av varmepumpen som er plassert i byggets parkeringskjeller. Avkastluft fra ventilasjonsanlegget og overskuddsvarme fra parkeringskjelleren ledes til varmepumpen for å øke virkningsgraden. Ventilasjonsanlegget er en meget sentral komponent i bygget. Med SmartAir System fra DNF vil det være mulig å dekke ca 50 % av kjølebehovet med frikjøling. Solfangerne vil i hovedsak dekke 50 % av varmtvannsbehovet. Det vil bli installert energimålere på all energiforsyning visualisert på SD anlegg. Dette vil gjøre det enkelt å dokumentere og estimere energiforbruk.

Det er beregnet at totalt levert energi til bygningen vil være 59,8 kWh/m<sup>2</sup>. Dette gir en reduksjon i energieresultatet med 640 256 kWh målt mot krav gitt i teknisk forskrift og beregnet etter lokalt klima.

Nåverdien til prosjektet vil være ca 700 000 kr gitt at Enovastøtten innvilges. Uten støtte vil nåverdien være ca -2 100 000 kr. Uten Enovastøtte vil ingen av de foreslåtte tiltakene gi positiv nåverdi (se pkt 4.3.3 for fullstendig sammenligning av løsningene). Ved å bruke vinduer med u-verdi 0,8 kan det være mulig å spare inn ca 80 000 kr ekstra. Tiltak 1 vil føre til en tilbakebetalingstid på 16,3 år, i forhold til referanseprosjektets 17,1 år. Tiltak 2 er å bruke bergvarmepumpe i stedet for luft-vann varmepumpe. Resultater av energiberegninger og lønnsomhetsanalyser viser at dette ikke er et lønnsomt tiltak. På grunn av den høye investeringsutgiften vil bergvarmepumpe gi en tilbakebetalingstid på 18,6 år, gitt Enovastøtte. Det vil si en netto nåverdi på ca 2 130 000 kr uten støtte, og ca 660 000 med

støtte. I forhold til projektkostnaden er ikke denne differansen spesielt stor, og bør vurderes hvis hensiktsmessig.

Det er per i dag ikke mulig å bygge dette arkitektonisk særegne kontorbygget som passivhus i energiklasse A som et lønnsomt prosjekt. Siden Enova for tiden har en støtteordning for de som velger å bygge energieffektive bygg, vil det likevel være et lønnsomt prosjekt så lenge det oppfyller Enovas krav til finansieringsstøtte. Det ser ut til at alle formelle krav er oppfylt, dermed er det ingen grunn til å tro at prosjektet ikke blir bevilget støtte fra Enova.

”Troll” vil være et av de første kontorbygg i Norge som er bygd etter passivhusstandard og med energiklasse A. Dette vil være et forbildeprosjekt som både viser andre hvilke muligheter som eksisterer, og samtidig vil gi et kunnskapsløft hos alle som er med å arbeide med prosjektet.

## KILDER

### PERSONER

Torben Søraas, gruppeleder energirådgivning Enerconsult AS

Per Arne Primstad, prosjektleder Kruse Smith Entreprenør AS

Ken Henry Tesaker, DNF AS

### REFERANSER

1. Stene, J., *Varmepumper- Fornybar varme og kjøling*, in *VVS-dagene 2010- Energi og miljø i bygg*. 2010, Cowi.
2. Norges Naturvernforbund. *Internasjonale klimaforhandlinger*. 09.04.2011]; Available from: <http://naturvernforbundet.no/klimaforhandlinger/>.
3. Lavenergiutvalget (2009) *Energieffektivisering*. 103.
4. Sintef. *Energieffektivisering*. 02.10.2010 27.04.2011]; Available from: <http://www.sintef.no/Miljo/Energieffektivisering/>.
5. Enova. *Historie*. Available from: <http://enova.no/sitepageview.aspx?sitePageID=1156>.
6. Gerd Lilledahl, A.W.H. *Kvalitativ metode, forelesningsnotat*. 2000 29.04.2011]; Available from: <http://www.giaever.com/sosiologi/KM.htm>.
7. Programbyggerne. *Simien*. 18.04.2011]; Available from: <http://www.programbyggerne.no/>.
8. energimerking.no. *Om energimerkeordningen*. 2009 06.05.2011]; Available from: <http://www.energimerking.no/no/Energimerking-Bygg/Om-energimerkesystemet-og-regelverket/>.
9. Enova. *Investeringskalkulator*. 2011 14.06.2011]; Available from: <http://beregning.enova.no/applicant/newapplication.aspx>.
10. Klima- og forurensningsdirektoratet (2011) *Klima i Norge*.
11. KanEnergi AS (2006) *Byggsektorens CO2-utslipp*.
12. Klima- og forurensningsdirektoratet (2011) *Klima*.
13. Klima- og forurensningsdirektoratet (2011) *Klima globalt*.
14. Magnet Media (2011) *Miljøvennlige bygg*.
15. International Energy Agency, *World Energy Outlook*. 2009: Paris, France.
16. Enova, *Bygningsnettverkets energistatistikk 2005*. Enovarapport. Vol. 2006:2. 2006, Trondheim: Enova. 64 s.
17. Enova, *Bygningsnettverkets energistatistikk 2009*, in *Enovarapport*. 2009, Enova: Trondheim 51 s.
18. Statens Bygningstekniske Etat (2011) *Veiledning til Forskrift om tekniske krav til byggverk-TEK10*. TEK10.
19. Dokka, T.H., et al., *Energieffektivisering i bygninger: - mye miljø for pengene*. Prosjektrapport. Vol. 40-2009. 2009, Oslo: SINTEF byggforsk. 31 s.
20. Dokka, T.H., et al., *Kriterier for passivhus- og lavenergibygge - yrkesbygg*. Prosjektrapport. Vol. 42-2009. 2009, Oslo: SINTEF byggforsk. 82 s.

21. Standard Norge. *NS 3031:2007 Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data*. 2007 12.05.2011]; Available from: <http://www.standard.no/no/Sok-og-kjop/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=283488>.
22. Standard Norge, *Kriterier for passivhus og lavenergihus*, in *Boligbygning*. 2010.
23. Passivhaus Institut. 28.03.2011]; Available from: <http://www.passiv.de>.
24. Dokka, T.H. *Bedre enn TEK – hva er fremtidens laveenergihus* 28.03.2011]; Available from: [http://www.bygningsfysikk.no/NorskBygningsfysikkdag2007/06\\_Dokka.pdf](http://www.bygningsfysikk.no/NorskBygningsfysikkdag2007/06_Dokka.pdf).
25. Karlsen, P.K., *Termografi Kapittel 2*, ed. Informasjonsselskapet Verdi AS.
26. Karlsen, P.K., *Termografi Kapittel 3*, ed. Informasjonsselskapet Verdi AS.
27. Enova (2011) *Støtte til passivhus og lavenergibygg*.
28. Hinna Park. *Hinna Park - Visjon*. 21.03.2011]; Available from: <http://www.hinnapark.no/category.php?categoryID=14>.
29. Hinna Park. *Hinna Park - Historien*. 21.03.2011]; Available from: <http://www.hinnapark.no/category.php?categoryID=13>.
30. Hinna Park. *Utbyggingen- Den nye bydelen*. 2011 29.04.2011]; Available from: <http://www.hinnapark.no/category.php?categoryID=15>.
31. Kirkhus, A. (2009) *Hefte 3: Utførelse av småhus*.
32. Husbanken (2010) *Fordeler og utfordringer ved å bygge lavenergiboliger og passivhus*.
33. Varmepumpeinfo.no. *Hva er en varmepumpe?* 2009 06.05.2011]; Available from: <http://www.varmepumpeinfo.no/content/hva-er-en-varmepumpe>.
34. Jørn Stene, M.B., *TEMAHEFTE: Varmepumper i boliger*. 2004, Enova.
35. varmepumpeinfo.no. *Luft/vann varmepumper*. 2009 06.05.2011]; Available from: <http://www.varmepumpeinfo.no/content/luftvann-varmepumper>.
36. Tveiten, B., Eide,, *Faktaprojekt -Fjernvarme Norge*. 2005, NVE/Enova.
37. Dokka, T.H. and K. Hermstad, *Energieffektive boliger for fremtiden: en håndbok for planlegging av passivhus og lavenergiboliger*. 2006, [Oslo]: [Husbanken].
38. Programbyggerne *Inneklima i bygninger- Simulering av energibruk og inneklima*.
39. Akershus Energi Varme AS (2009) *Standard leveringsvilkår for fjernkjøling*.
40. Enova (2004) *Manual for Enøk Normtall*.
41. [www.boligvarme.no](http://www.boligvarme.no). *Varmepumper*. 30.05.2011]; Available from: <http://www.boligvarme.no/vannb-ren-varme-andre-energikilder/varmepumper-2.html>.
42. Eggen, G., *Varmepumpens bidrag til redusert energibruk i Norge*, NVE, Editor. 2005, NVE.
43. Lassen, N., et al., *Passivbygg som forskriftskrav i 2020*. 2009, Oslo: Multiconsult. 62 s.
44. SINTEF Byggforsk, *Prosjektrapport 39 -Prosjektveileder forenklet anlegg for vannbåren oppvarming av boliger*, in *Prosjektrapport*. 2009.
45. Kvellheim, A.K. (2010) *EVU-KURS OM LAVENERGIBOLIGER OG PASSIVHUS*
46. Velfac. *Bolig for livet*. 2010 24.05.2011]; Available from: [http://www.velfac.dk/Global/Bolig\\_for\\_livet](http://www.velfac.dk/Global/Bolig_for_livet).
47. Brekke, R. *Varmtvann og strøm fra gass*. 2010 27.10.10 24.05.2011]; Available from: <http://www.industrien.no/produktnyheter/article264897.ece>.
48. Husbanken (2011) *EU lanserer handlingsplan for revidert bygningsenergidirektiv*.

## VEDLEGG

Vedlegg A – Fasadetegninger

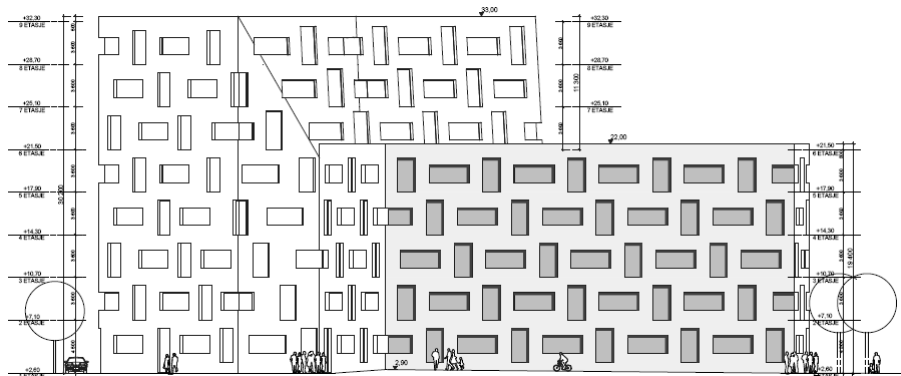
Vedlegg B – Nåverdi

Vedlegg C – Inndata investeringskalkulator (Referanseprosjekt)

Vedlegg D – Inndata Simien

Vedlegg E – Pristilbud Nordan vinduer

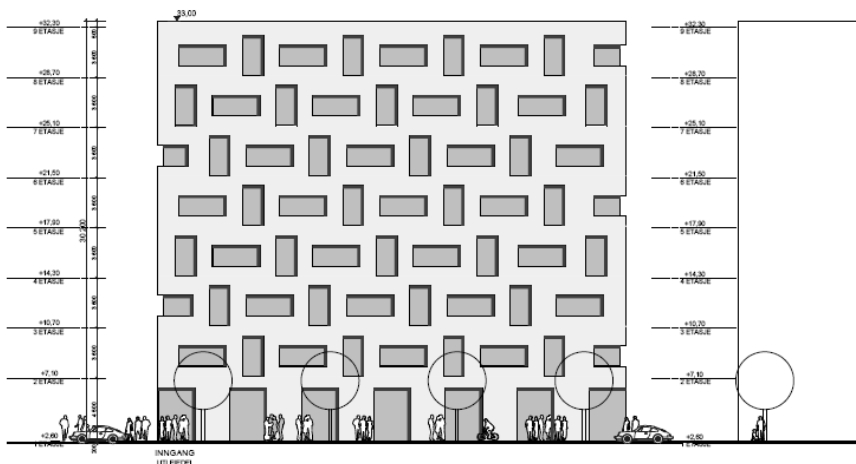
## VEDLEGG A - FASADETEGNINGER



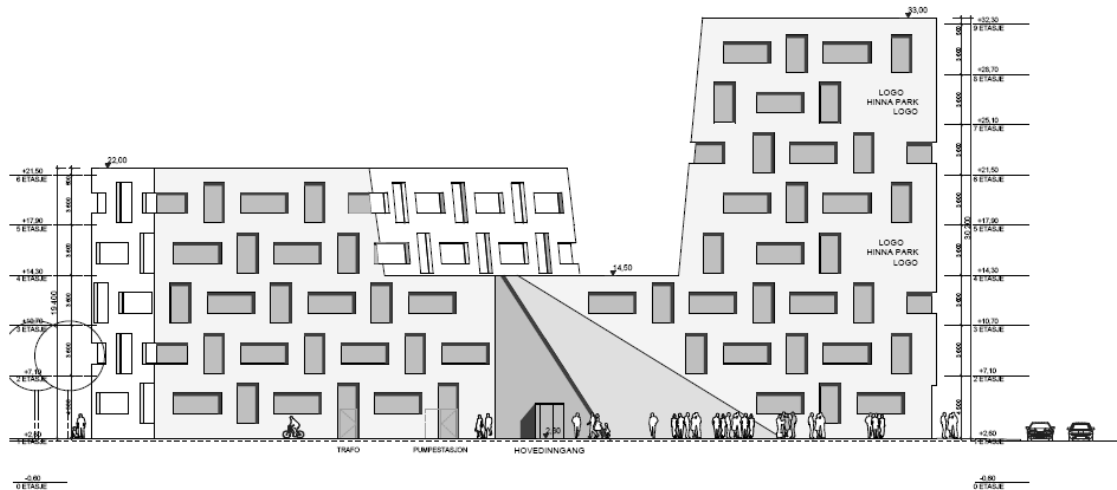
**Figur B 1 Fasadetegning nord (Eder Biesel Arkitekter AS)**



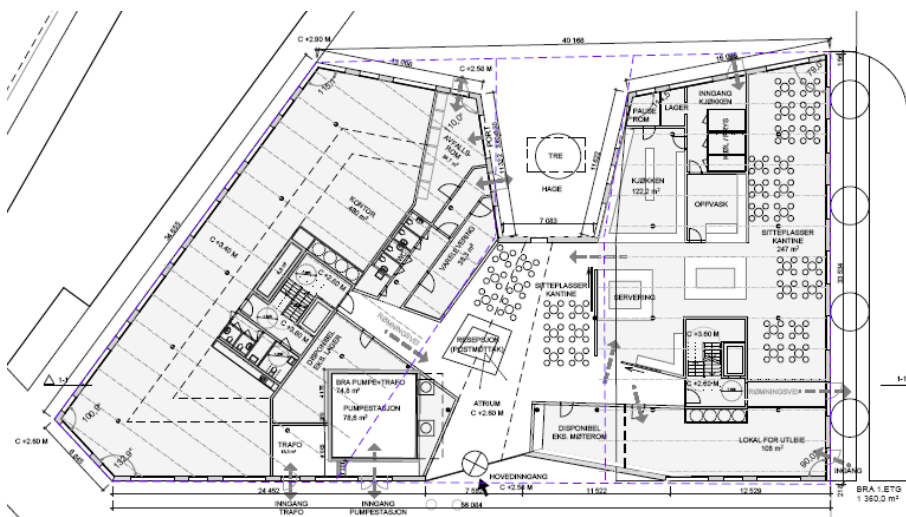
**Figur B 2 Fasadetegning nordøst (Eder Biesel Arkitekter AS)**



**Figur B 3 Fasadetegning sørøst (Eder Biesel Arkitekter AS)**

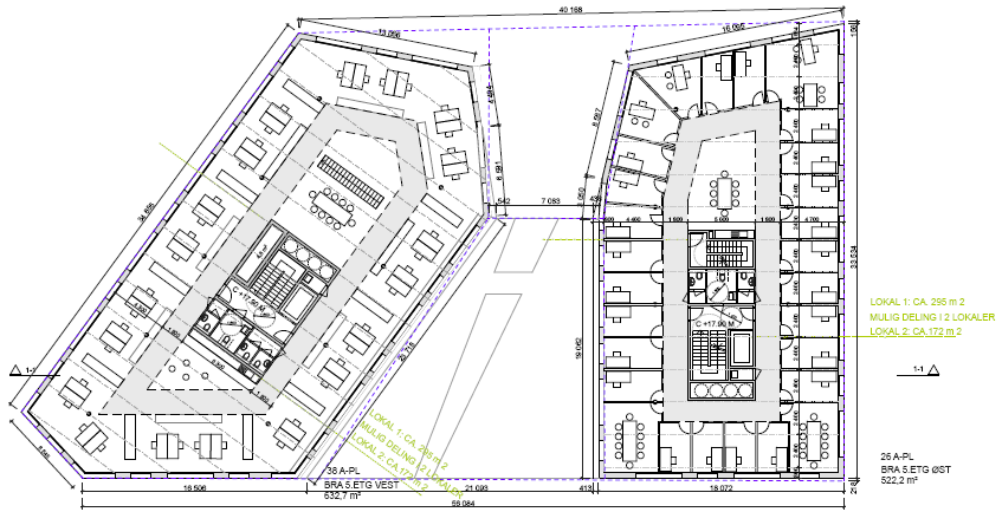


**Figur B 4 Fasadetegning sørvest (Eder Biesel Arkitekter AS)**

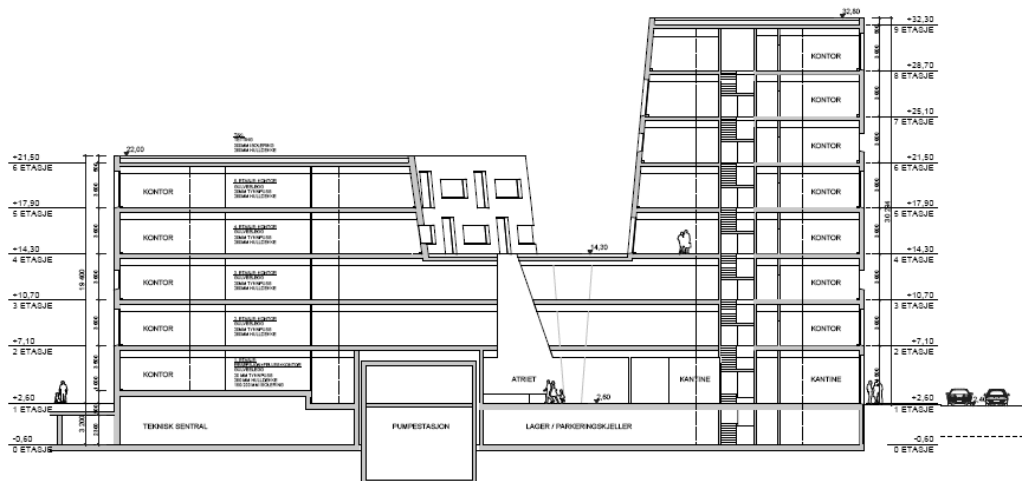


**Figur B 5 Snittegning 1. etg (Eder Biesel Arkitekter AS)**





**Figur B 6 Snittegning 5. etg (Eder Biesel Arkitekter AS)**



**Figur B 7 Snittegning 1-1 (Eder Biesel Arkitekter AS)**

## VEDLEGG B - NÅVERDI

For å vurdere lønnsomheten av en investering benyttes nåverdi. Fremtidige inntekter og utgifter føres tilbake til referansetidspunktet. En positiv nåverdi forteller om en investering er lønnsom i forhold til en alternativ investering under gitte forutsetninger.

$$Nåverdi = B \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} - \left[ \sum (I_0 + I_1 + I_2 + \dots) - \sum (I_{el, fos-0} + I_{el, fos-1} + I_{el, fos-2} + \dots) \right]$$

B = årlig privatøkonomisk besparelse

$$B = Q \left( \frac{P_{el, fos}}{\eta_{el, fos}} - \frac{P_{alt}}{\eta_{alt}} \right)$$

der:

- Q er varmebehov i kWh/år som vil kunne dekkes av valgt energiløsning (avhengig av oppvarmet BRA er Q minimum 40 % eller 60 % av totalt netto varmebehov).
- $P_{el, fos}$  er aktuell årsgjennomsnittlig kWh-pris på elektrisitet eller fossile brensler (inkludert distribusjon og avgifter).
- $P_{alt}$  er aktuell årsgjennomsnittlig kWh-pris ved alternativ energiforsyning til elektrisitet eller fossile brensler (inkludert distribusjon og avgifter).
- $\eta_{el, fos}$  er virkningsgrad for varmesystem basert på elektrisitet eller fossile brensler.
- $\eta_{alt}$  er virkningsgrad for varmesystem basert på alternativ energiforsyning til elektrisitet eller fossile brensler.

Tabeller i NS3031 oppgir typiske virkningsgrader for varmesystemer. Hvis det kan dokumenteres bedre virkningsgrad enn hva tabellene oppgir, kan dette benyttes. Dersom det må påregnes større vedlikeholdskostnader, kan disse inkluderes i regnestykket. I den grad det kan påregnes offentlig tilskudd (Enova-støtte) til valgt energiløsning, bør dette tas med i beregningen av investeringskostnad.

Dersom analysen skulle vise negativ nåverdi, bør likevel mulighetene for å dekke en mindre andel av varmebehovet med alternativ energiforsyning til elektrisitet eller fossile brensler vurderes.

r = kalkulasjonsrente (settes til 4 %).

$n$  = Bygningens levetid (settes til 50år).

$I_0$  = Investeringskostnad for varmesystem basert på alternativ energiforsyning til elektrisitet eller fossile brensler.

$I_{el,fos-0}$  = Investeringskostnad for varmesystem basert på elektrisitet eller fossile brensler.

$I_1, I_2$  osv og  $I_{el,fos-1}, I_{el,fos-2}$  osv = nåverdien av nødvendige investeringskostnader for å opprettholde varmesystemenes funksjon gjennom bygningens levetid.

$$I_1 = \frac{I}{(1+r)^{m1}}, I_2 = \frac{I}{(1+r)^{m2}}, \text{ osv}$$

$$I_{el,fos-1} = \frac{I_{el,fos}}{(1+r)^{m1}}, I_{el,fos-2} = \frac{I_{el,fos}}{(1+r)^{m2}}, \text{ osv}$$

$m$  = levetid for teknisk installasjon (settes til 20 år).

Teorien i dette vedlegget er hentet fra kapittel 14 i TEK10. [18]

## VEDLEGG C - INNDATA INVESTERINGSKALKULATOR (REFERANSEPROSJEKT)

### Bolig, bygg og anlegg

Søker legger inn verdier for prosjektøkonomi i angitte tabeller nedenfor.  
Alle kostnader, inntekter og priser skal legges inn eks. mva.

For navigering mellom tabellfelter, klikk med musepeker eller benytt TAB for å gå til neste felt. Påkrevde felter er merket med \*.

For programtekst og utfyllende informasjon om Bolig, bygg og anlegg sine støtteprogram, klikk på linken under:  
Programtekst Bolig, bygg og anlegg

Legg inn oppstartsår (året utbyggingsprosjektet starter) og siste året med investeringer i tabellen.

Oppstart (første år med investeringer)

Siste år med investeringer

### Investeringer energibruksprogrammer

Søker legger inn de totale investeringene i prosjektet. Selv om prosjektet består av flere delinvesteringer i ulike komponenter er det kun den totale summen av investeringene per år som skal legges inn. I tillegg skal søker legge inn investeringskostnader for et tilsvarende ikke-energieffektivt prosjekt som representerer et reelt alternativ til det energieffektive prosjektet.

Ved å trykke på knappen "kopier" vil verdiene i raden fylles ut i påfølgende år.

År	Investeringskostnad	Referanseinvestering	Merinvestering
2011	99 000 000	95 000 000	4 000 000
2012	97 325 000	93 000 000	4 325 000
Sum investeringer	196 325 000	188 000 000	8 325 000

### Økonomisk levetid

Legg inn en %-vis fordeling av energieresultatene etter standard forventet levetid på de ulike tiltakene. For eksempel på utfylling, likk på linken "Eksempel":  
Eksempel

År	%-fordeling
5	0
10	0
15	40
20	0
25	0
30	60

Levetid for energieresultater

Siste år med energieresultater

### Inntekter og energileveranser

Søker skal legge inn de aktuelle inntektene for prosjektet. Legg inn priser og fyll inn antall kWh i tabellen nedenfor fordelt per år. Dersom søker har andre inntekter som ikke er spesifisert i listen, brukes parameteren "Andre inntekter" og inntektene fordeles som nevnt ovenfor. Alle priser oppgis eks. mva.

Ved å trykke på knappen "kopier" vil verdiene i raden fylles ut i påfølgende år.

#### Priser

Differanse energipris konvertering (øre/kWh)

Redusert el (øre/kWh)

Redusert annet (øre/kWh)

**Inntekter fra energileveranser**

År	Konvertering kWh	Redusert el kWh	Redusert annet kWh	Sum energi- leveranser kWh	Andre inntekter NOK	Sum inntekt energi- leveranser NOK
2011	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	0	0
2013	0	266 862	373 574	640 436	400 000	880 329
2014	0	266 862	373 574	640 436	400 000	880 329
2015	0	266 862	373 574	640 436	400 000	880 329
2016	0	266 862	373 574	640 436	400 000	880 329
2017	0	266 862	373 574	640 436	400 000	880 329
2018	0	266 862	373 574	640 436	0	480 329
2019	0	266 862	373 574	640 436	0	480 329
2020	0	266 862	373 574	640 436	0	480 329
2021	0	266 862	373 574	640 436	0	480 329
2022	0	266 862	373 574	640 436	0	480 329
2023	0	266 862	373 574	640 436	0	480 329
2024	0	266 862	373 574	640 436	0	480 329
2025	0	266 862	373 574	640 436	0	480 329
2026	0	266 862	373 574	640 436	0	480 329
2027	0	266 862	373 574	640 436	0	480 329
2028	0	266 862	373 574	640 436	0	480 329
2029	0	266 862	373 574	640 436	0	480 329
2030	0	266 862	373 574	640 436	0	480 329
2031	0	266 862	373 574	640 436	0	480 329
2032	0	266 862	373 574	640 436	0	480 329
2033	0	266 862	373 574	640 436	0	480 329
2034	0	266 862	373 574	640 436	0	480 329
2035	0	266 862	373 574	640 436	0	480 329
2036	0	266 862	373 574	640 436	0	480 329

**Drifts- og vedlikeholdskostnader**

Søker legger inn merknader knyttet til drift og vedlikehold i prosjektet og fordeler de over prosjektets økonomiske levetid. Dersom søker har andre driftskostnader som ikke er spesifisert i listen, brukes parameteren "Andre driftskostnader" og kostnadene fordeles som nevnt ovenfor.

- Lønn - økte lønnskostnader for egne ansatte som følge av merinvesteringen.
- Drift - leveranse fra eksterne som følge av merinvesteringen.
- Vedlikehold - Stipulerte økte kostnader til reparasjoner og utbedringer for å opprettholde opprinnelige kvalitet.
- Service - Faste årlige kostnader til ettersyn av merinvesteringen.
- Resirkulering - Kostnad til avhending av merinvesteringen.

Ved å trykke på knappen "kopier" vil verdiene i raden fylles ut i påfølgende år.

År	Lønns- kostnader NOK	Drift NOK	Vedlikehold NOK	Service NOK	Re- sirkulering NOK	Andre drifts- kostnader NOK	Sum drifts- kostnader per år NOK
2011	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	0	0	0
2013	0	5 000	12 500	7 500	0	0	25 000
2014	0	5 000	12 500	7 500	0	0	25 000
2015	0	5 000	12 500	7 500	0	0	25 000
2016	0	5 000	12 500	7 500	0	0	25 000
2017	0	5 000	12 500	7 500	0	0	25 000
2018	0	5 000	12 500	7 500	0	0	25 000
2019	0	5 000	12 500	7 500	0	0	25 000
2020	0	5 000	12 500	7 500	0	0	25 000

2021	0	5 000	12 500	7 500	0	0	25 000
2022	0	5 000	12 500	7 500	0	0	25 000
2023	0	5 000	12 500	7 500	0	0	25 000
2024	0	5 000	12 500	7 500	0	0	25 000
2025	0	5 000	12 500	7 500	0	0	25 000
2026	0	5 000	12 500	7 500	0	0	25 000
2027	0	5 000	12 500	7 500	0	0	25 000
2028	0	5 000	12 500	7 500	20 000	0	45 000
2029	0	5 000	12 500	7 500	0	0	25 000
2030	0	5 000	12 500	7 500	0	0	25 000
2031	0	5 000	12 500	7 500	0	0	25 000
2032	0	5 000	12 500	7 500	0	0	25 000
2033	0	5 000	12 500	7 500	0	0	25 000
2034	0	5 000	12 500	7 500	0	0	25 000
2035	0	5 000	12 500	7 500	0	0	25 000
2036	0	5 000	12 500	7 500	0	0	25 000

### Finansiering

Søker legger inn den totale finansieringen av prosjektet fordelt på egenkapital, lånefinansiering og støtte som kan tilbys fra Enova. Selv om prosjektet består av flere del-investeringer i ulike komponenter er det kun den totale summen av investeringene som skal legges inn.

#### Finansiering (kroner)

Totale investeringer	8 325 000
Egenfinansiering + annen finansiering	5 420 700
Støttebehov	2 904 300

## VEDLEGG D – INNDATA SIMIEN

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m <sup>2</sup> ]:	3488	
Areal tak [m <sup>2</sup> ]:	1353	
Areal gulv [m <sup>2</sup> ]:	1391	
Areal vinduer og ytterdører [m <sup>2</sup> ]:	1560	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m <sup>2</sup> ]:	8298	
Oppvarmet luftvolum [m <sup>3</sup> ]:	27992	
U-verdi yttervegger [W/m <sup>2</sup> K]	0,14	
U-verdi tak [W/m <sup>2</sup> K]	0,10	
U-verdi gulv [W/m <sup>2</sup> K]	0,13	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m <sup>2</sup> K]	0,65	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	18,8	
Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]:	0,01	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m <sup>2</sup> K]	40	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0,50	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	85	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	85,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m <sup>3</sup> /s]:	1,50	
Luftmengde i driftstiden [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	8,1	
Luftmengde utenfor driftstiden [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	2,0	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	1,98	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m <sup>2</sup> ]:	100	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,0	
Systemeffektfaktor kjøling:	3,49	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	22,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m <sup>2</sup> ]:	89	
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 <sup>2</sup> ]	5,0	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	5,0	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	6,0	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	6,0	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m <sup>2</sup> ]	0,8	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	0,0	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m <sup>2</sup> ]	4,0	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,18	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,09	
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:	1,00	

Inndata ekspertverdier	
Beskrivelse	Verdi
Konvektiv andel varmetilskudd belysning	0,30
Konvektiv andel varmetilsk. teknisk utstyr	0,50
Konvektiv andel varmetilsikudd personer	0,50
Konvektiv andel varmetilsikudd sol	0,50
Konvektiv varmoverføringskoeff. vegger	2,50
Konvektiv varmoverføringskoeff. himling	2,00
Konvektiv varmoverføringskoeff. gulv	3,00
Bypassfaktor kjølebatteri	0,25
Innv. varmemotstand på vinduruter	0,13
Midlere lufthastighet romluft	0,15
Turbulensintensitet romluft	25,00
Avstand fra vindu	0,60
Termisk konduktivitet akk. sjikt [W/m <sup>2</sup> K]:	20,00

Inndata klima	
Beskrivelse	Verdi
Klimastad	Stavanger
Breddegrad	58° 58'
Lengdegrad	5° 41'
Tidssone	GMT + 1
Årsmiddeltemperatur	8,4 °C
Midlere solstråling horisontal flate	92 W/m <sup>2</sup>
Midlere vindhastighet	4,5 m/s



Inndata energiforsyning	
Beskrivelse	Verdi
1a Direkte el.	Systemvirkningsgrad: 0,90 Kjølefaktor: 10,00 Energipris: 0,82 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: 50,0 % Andel el, spesifikt: 100,0 %
4 Fjernvarme	Systemvirkningsgrad: 0,84 Kjølefaktor: 2,50 Energipris: 0,70 kr/kWh CO2-utslipp: 231 g/kWh Andel romoppvarming: 18,0% Andel oppv, tappevann: 30,0% Andel varmebatteri: 18,0 % Andel kjølebatteri: 100,0 % Andel romkjøling: 50,0 % Andel el, spesifikt: 0,0 %
1b El. Varmepumpe	Systemvirkningsgrad: 2,70 Kjølefaktor: 3,00 Energipris: 0,82 kr/kWh CO2-utslipp: 395 g/kWh Andel romoppvarming: 80,0% Andel oppv, tappevann: 20,0% Andel varmebatteri: 80,0 % Andel kjølebatteri: 0,0 % Andel romkjøling: 0,0 % Andel el, spesifikt: 0,0 %
1c El. solenergi	Systemvirkningsgrad: 9,00 Kjølefaktor: 2,50 Energipris: 0,82 kr/kWh CO2-utslipp: 395 g/kWh Andel romoppvarming: 2,0% Andel oppv, tappevann: 50,0% Andel varmebatteri: 2,0 % Andel kjølebatteri: 0,0 % Andel romkjøling: 0,0 % Andel el, spesifikt: 0,0 %

**TILTAK 2:**

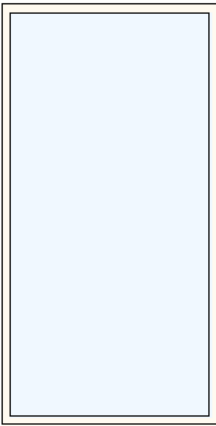

Inndata energiforsyning	
Beskrivelse	Verdi
1a Direkte el.	Systemvirkningsgrad: 0,90 Kjølefaktor: 10,00 Energipris: 0,82 kr/kWh CO2-utslipp: 395 g/kWh Andel romoppvarming: 0,0% Andel oppv, tappevann: 0,0% Andel varmebatteri: 0,0 % Andel kjølebatteri: 0,0 % Andel romkjøling: 50,0 % Andel el, spesifikt: 100,0 %
4 Fjernvarme	Systemvirkningsgrad: 0,84 Kjølefaktor: 2,50 Energipris: 0,70 kr/kWh CO2-utslipp: 231 g/kWh Andel romoppvarming: 8,0% Andel oppv, tappevann: 20,0% Andel varmebatteri: 8,0 % Andel kjølebatteri: 100,0 % Andel romkjøling: 50,0 % Andel el, spesifikt: 0,0 %
1b El. Varmepumpe	Systemvirkningsgrad: 3,30 Kjølefaktor: 3,00 Energipris: 0,82 kr/kWh CO2-utslipp: 395 g/kWh Andel romoppvarming: 90,0% Andel oppv, tappevann: 30,0% Andel varmebatteri: 90,0 % Andel kjølebatteri: 0,0 % Andel romkjøling: 0,0 % Andel el, spesifikt: 0,0 %
1c El. solenergi	Systemvirkningsgrad: 9,00 Kjølefaktor: 2,50 Energipris: 0,82 kr/kWh CO2-utslipp: 395 g/kWh Andel romoppvarming: 2,0% Andel oppv, tappevann: 50,0% Andel varmebatteri: 2,0 % Andel kjølebatteri: 0,0 % Andel romkjøling: 0,0 % Andel el, spesifikt: 0,0 %

## VEDLEGG E – PRISTILBUD NORDAN VINDUER



TILBUD • NO.0408172.A

Tegningene viser produktene sett utenfra

Lnr	Mrk	Ant	Beskrivelse		Netto enh. pris
005		94	ND NTech Fast karm 105 Utførelse NTech Passiv U-verdi produkt: 0,62W/m <sup>2</sup> K	1488 x 2888mm 	5 620
			Energi 2s SSP/Ar Oppbygning 6ES+16G+4+16G+ES6		
			Overflatebehandling Utvendig NCS S0502Y Hvit Innvendig NCS S0502Y Hvit Glasslister NCS S0502Y Hvit, Pulver lakkert		
			Detaljer: Festehull D-14/6		
010		87	ND NTech Fast karm 105 Utførelse NTech Passiv U-verdi produkt: 0,63W/m <sup>2</sup> K	2888 x 1488mm 	5 611
			Energi 2s SSP/Ar Oppbygning 6ES+16G+4+16G+ES6		
			Overflatebehandling Utvendig NCS S0502Y Hvit Innvendig NCS S0502Y Hvit Glasslister NCS S0502Y Hvit, Pulver lakkert		
			Detaljer: Festehull D-14/6		
998		181	Miljøvederlag glassretur		15

### Gjennomsnitt U-verdi: 0,63W/m<sup>2</sup>K

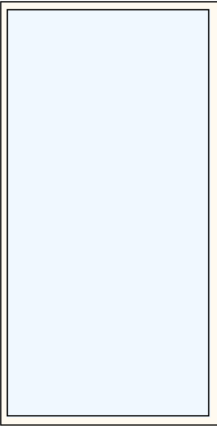

Beregning av U-verdi er utført i henhold til NS-EN ISO 10077-1, 10077-2 og programmet "Therm".  
Senter U-verdi for glasset er beregnet i henhold til NS-EN 673. Beregningsmetodikken er kvalitetsikret av SINTEF Byggforsk.

Valuta	Totalsum eks. mva.		Miljøavgift	Sum å betale eks. mva.	Merverdiavgift 25%	Sum å betale
NOK	1 016 397		+ 2 715	= 1 019 112	+ 254 778	<b>1 273 890</b>



TILBUD ▪ NO.0408172.B

Tegningene viser produktene sett utenfra

Lnr	Mrk	Ant	Beskrivelse		Netto enh. pris
005		94	ND NTech Fast karm Utførelse Standard U-verdi produkt: 0,92W/m²K  Uten ventil  Energi 2s VKS/Ar Oppbygning 6ES+10G+4+10G+ES6  Overflatebehandling Utvendig NCS S0502Y Hvit Innvendig NCS S0502Y Hvit Glasslister NCS S0502Y Hvit, Pulver lakkert  Detaljer: Festehull D-14/6	1488 × 2888mm 	4 784
010		87	ND NTech Fast karm Utførelse Standard U-verdi produkt: 0,92W/m²K  Uten ventil  Energi 2s VKS/Ar Oppbygning 6ES+10G+4+10G+ES6  Overflatebehandling Utvendig NCS S0502Y Hvit Innvendig NCS S0502Y Hvit Glasslister NCS S0502Y Hvit, Pulver lakkert  Detaljer: Festehull D-14/6	2888 × 1488mm 	4 776
998		181	Miljøvederlag glassretur		15

**Gjennomsnitt U-verdi: 0,92W/m²K**

Beregning av U-verdi er utført i henhold til NS-EN ISO 10077-1, 10077-2 og programmet "Therm".  
 Senter U-verdi for glasset er beregnet i henhold til NS-EN 673. Beregningsmetodikken er kvalitetsikret av SINTEF Byggforsk.

Valuta	Totalsum eks. mva.	Miljøavgift	Sum å betale eks. mva.	Merverdiavgift 25%	Sum å betale
NOK	865 186	+ 2 715	= 867 901	+ 216 975	<b>1 084 876</b>