



# Kaarstadbygningen Høgskulen i Volda

## Energieffektivisering ved bruk av Total Concept metoden



Oppdragsgiver: Resty Garcia, Statsbygg

Prosjekt utført av: SINTEF Byggforsk  
Anna Svensson  
Anders-Johan Almås  
Mads Mysen

Dato: 19.05.2015

Denne rapportmalen er utarbeidet som en del av prosjektet “The Total Concept method for major reduction of energy use in non-residential buildings”, støttet av Intelligent Energy Europe Programmet. Kontraksnummer: IEE / 13/613 / SI2.675832  
Prosjektets hjemmeside: [www.totalconcept.info](http://www.totalconcept.info)

Version 1.1- Januari 2015



Co-funded by the Intelligent Energy Europe  
Programme of the European Union

**Ansvarsfraskrivelse**

*Eneansvar for innholdet i denne publikasjonen ligger hos forfatterne. Det betyr ikke nødvendigvis at det gjenspeiler oppfatningen av EU. Verken EACI eller EU-kommisjonen er ansvarlig for bruk som kan gjøres av informasjonen som finnes deri.*

## Innholdsfortegnelse

1	Bakgrunn .....	4
2	Prosjektets omfang og metodikk .....	4
3	Dagens tilstand av bygningen og de tekniske systemene .....	5
3.1	Bygningen .....	5
3.2	Bygningens bruk og funksjoner.....	6
3.3	Inneklima.....	7
3.5	Bygningskroppen.....	7
3.4	Tekniske systemer .....	8
3.4.1	Ventilasjon.....	8
3.4.2	Rom- og varmtvannsoppvarming .....	8
3.4.3	Kjøling.....	9
3.4.4	Belysning og utstyr.....	9
4	Energibruk og energiforsyning.....	9
4.1	Energistatistikk .....	9
4.2	Utgangspunkt ved vurdering av energieffektiviseringstiltak.....	10
5	Identifisering av energieffektiviseringstiltak.....	10
5.1	Tiltak 1 Skifte av radiatorer og termostatventiler.....	12
5.2	Tiltak 2 Etterisolering av yttervegger.....	12
5.3	Tiltak 3 – Etterisolering av tak .....	12
5.4	Tiltak 4 - CAV til behovsstyrt ventilasjon.....	13
5.5	Tiltak 5 - Belysning til behovsstyrt LED.....	13
5.6	Tiltak 6 – Skifte vinduer til PH-vinduer .....	14
5.7	Tiltak 7 Installerer av bergvarmepumpe.....	14
6	Tiltakspakke basert på Total Concept metoden.....	15
6.1	Inndata for lønnsomhetsberegninger .....	15
6.2	Resultater.....	15
7	Konklusjoner .....	16
	Vedlegg 1. Inndata til energisimulering: Utgangspunkt for eksisterende bygning .....	17
	Vedlegg 2. Inndata for energieffektiviseringstiltakene .....	19

## 1 Bakgrunn

SINTEF Byggforsk har etterspurt potensielle rehabiliteringsprosjekter hos våre partnere Statsbygg og Forsvarsbygg. Prosjektene skal inngå som pilotbygg, der Total Concept metoden skal brukes for å finne en optimal tiltakspakke for energieffektivisering. Statsbygg sitt bygg, Kaarstadbygningen, der Høgskulen i Volda har sin virksomhet, har behov for renovering og er valgt som pilotbygg.

## 2 Prosjektets omfang og metodikk

Byggherrens hovedmål med rehabiliteringen er å forbedre inn klimaet i lokalene. SINTEF Byggforsk skal gi forslag til andre tiltak som kan utføres i samband med denne renoveringen.

Målet med dette prosjektet er å gjennomføre Trinn 1 av Total Concept metoden<sup>1</sup> for å utarbeide en tiltakspakke med energieffektiviseringstiltak til Kaarstadbygningen..

Arbeidet (trinn 1) er basert på følgende viktige aktiviteter:

- Innsamling av grunnleggende informasjon om bygningen og sammenstilling av tekniske data.
- Energitilstandsanalyse og identifisering av energisparende tiltak.
- Estimering av investeringskostnad.
- Energiberegninger.
- Lønnsomhetsberegninger og fastsetting av en tiltakspakke.

Følgende bakgrunnsinformasjon, mottatt fra Statsbygg og fra tilstandsanalysen, er brukt i dette arbeidet:

- Forvaltningsplan for Høgskulen i Volda, versjon 1, 18.12.2013 [1]
- Energirapport Høgskulen i Volda, Kaarstadhuset, 21.02.2014 [2]
- Tilstandsanalyse NS3423 og NS3424 18.08.2014 [3]
- Statsbygg energirapport 2013- Energiforbruk i Statsbyggs bygninger, rev. Utgave [4]
- Intervju og befaring med bygningens driftsansvarlig og eiendomsforvalter, SINTEF 27.02.2015 [5]
- Funksjonsbeskrivelse, VVS, Rambøll, 02.2012 [6]
- Byggetegninger (A-tegninger, K-tegninger, VVS-tegninger) [7]

En tilstandsanalyse er utført på stedet av Statsbygg 18.08.2014. Det er også utført en energimerking med tilstandsvurdering av de tekniske anleggene Prosjektutvikling Midt-Norge AS (21.02.2014). En kompletterende befaring er utført på stedet av SINTEF Byggforsk (27.03.2015). En energiberegning av bygningen er simulert ved hjelp av

---

<sup>1</sup> Mer detaljer om Total Concept metoden finnes i: "The Total Concept method. Guidebook for implementation and quality assurance". 2014, [www.totalconcept.info](http://www.totalconcept.info)

simuleringsverktøyet SIMIEN versjon 5.501. Beregningene av investeringskostnader er basert på underlaget til rapporten "Kostnadsoptimalitet Energiregler i TEK20" utarbeidet av Multiconsult og SINTEF Byggforsk i 2010.

Rapporten er delt inn i følgende avsnitt:

- Dagens tilstand av bygningen og de tekniske systemene  
*Oppsummering av dagens tilstand av bygningen, bygningens bruk, inneklima og tekniske systemer*
- Energi og energiforsyning  
*Oversikt over gjeldende energibruk i bygningen og bygningens energibalanse beregnet med simuleringsprogrammet. Etablering av et utgangspunkt for det eksisterende bygget for videre vurdering av energieffektiviseringstiltak.*
- Identifiserte energieffektiviseringstiltak  
*Oversikt over de identifiserte energieffektiviseringstiltakene og forventet energi- og kostnadsbesparelser.*
- Tiltakspakke basert på Total Concept metoden  
*Resultatene av lønnsomhetsberegninger: detaljer om tiltakspakken som oppfyller lønnsomhetskravene fra byggherren / kunden, total investeringskostnad og beregnet total energi og kostnadsbesparelser etter gjennomføring av tiltakspakken.*
- Konklusjoner  
*Konklusjonene fra prosjektet, gjennomføre Trinn 1 av Total Concept metoden*

## 3 Dagens tilstand av bygningen og de tekniske systemene

### 3.1 Bygningen

Høgskulen i Volda består av åtte bygninger. Den aktuelle bygningen, Kaarstadbygningen, er oppført i 1922 og har et tilbygg fra 1982. Hovedbygningen og den tilhørende parken er vernet med verneklasse 2, hvilket innebærer at ombygging, utskifting av bygningsdeler eller endringer av malingsfarge ikke får utføres uten avklaring med kulturminnefaglig kompetanse i Statsbygg.

Uttrekk fra forvaltningsplanen:

*"... har kulturhistorisk verdi som lærerskole oppført i en utdanningshistorisk viktig periode, og som et anlegg med gode, tidstypiske kvaliteter som er godt bevart. Dette er en viktig begrunnelse for at eiendommen er med i Landsverneplan for Kunnskapsdepartementet, i verneklasse 2 [1].*



Figur 1: Eldre tegning av sydfasaden til Kaarstadbygningen

Videre vurderinger om energiltak kommer kun å gjelde hovedbygningen og dermed ikke tilbygget fra 1982.

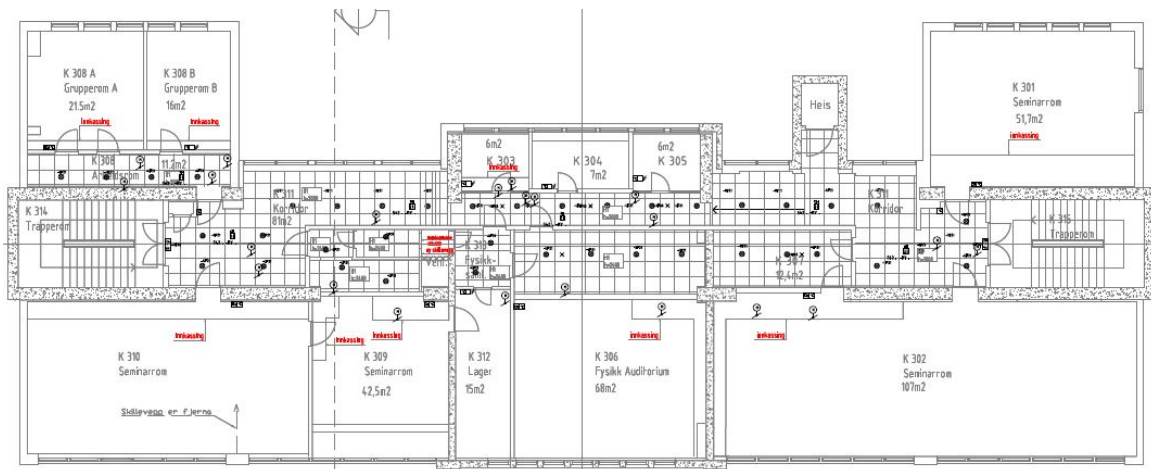
### 3.2 Bygningens bruk og funksjoner

Bygningen brukes hovedsakelig til undervisning. Det er et fåtall kontorer igjen på nordsiden, men de fleste av disse har blitt flyttet til tilbygget grunnet dårlig inneklimate. Underetasjen brukes til kantine og undervisningsrom for matkultur, som omfatter kjøkken, samt et stort musikkrom. 1-3. etasjen inneholder seminarrom for undervisning, et større auditorium og den gamle festsalen samt noen grupperom og kontorer mot nord. Bygningen har et kaldt loft med en mengde små loftsrom, som i all hovedsak står tomt, men er noe brukt til lager.

Tabel 3.2 Spesifisering av bruk av rom i Kaarstadbygningen.

Etasje	Bruk
U	Matkultur, Musikkrom, Kantine, Teknisk rom
1.	Seminarrom, grupperom, lærerrom
2.	Seminarrom, festsal, kontorer mot nord
3.	Seminarrom og auditorium, grupperom
4.	Loft med loftsrom

Bygningen skal ha samme bruk i etterkant av renoveringen, eventuelt noen flere kontorer når inneklimate er forbedret.



Bilde 3.2. Planløsning 3. etasjen Kaarstadbygningen

### 3.3 Inneklima

Det er naturlig ventilasjon i store deler av bygningen og problemer med overoppvarming på grunn av solvarmetilskudd. De fleste kontorer er flyttet til tilbygget grunnet det dårlige inneklimate.

Når det gjelder solskjerming er det kun innvendige persienner og solfilm på det indre glasset på vinduene mot sør.

### 3.5 Bygningskroppen

Estimerte U-verdier finnes i inndata til energiberegning i vedlegg 1.

Bygningens eksteriør er godt bevart, veggene er antatt å være ca. 400 mm uarmert, støpt betong med glatte, malte pussfasader. Pussede flater ble rehabilitert i 2010 med pussreparasjoner og påføring av silikatmaling. Ved behov for mer omfattende vedlikehold av fasadepuss kan rehabilitering og/eller fornyelse av fasader med annen teknisk utførelse enn den eksisterende vurderes [1].

Bygningen har en høy kjeller som brukes som undervisningsrom. Noen av rommene er hevet for å legge til rette for universell utforming. Grunnen rundt huset er ikke drenert i moderne tid. Det er observert tegn til oppsprekking mot vegg ved rampen ved inngangspartiet på nordsiden. Et dreningstiltak må avklares med kulturminnefaglig kompetanse hos Statsbygg.

Bygningen har et vindu- og dørareal på 17 % av bruksarealet (BRA). En del av bygningens vinduer er originale vinduer. Disse vedlikeholdes etter antikvariske prinsipper med utførelse, teknikk og materialbruk lik den nåværende. Bygningen har også en del nyere vinduer fra 80- og 90-tallet, hvor spesielt vinduene fra 80-tallet er i dårlig stand. Vinduer mot nord er originale vinduer med varevinduer fra 1995 (ca. 45 stk.). Vinduer mot sør er gamle, koblede vinduer fra 80-tallet i dårlig stand. Det er lagt på solfilm for å

øke solskjermingen på vinduene mot sør (ca. 80 stk). Noen vinduer ble også utbedret under rehabiliteringen i 2010.

Forvaltningsplanen sier: *"Når nyere vinduene (80-90-tall) ikke lenger lar seg reparere, eller av andre hensyn må skiftes, bør utskifting til kopier av opprinnelige vinduer vurderes. Utskifting eller ombygging av vinduer vil være arbeid som krever avklaring med kulturminnefaglig kompetanse i Statsbygg. En del vinduer har i senere tid blitt påført solfilm av hensyn til innemiljøet. Dette endrer glassflatenes refleksjon og farge. Ved behov for tiltak på disse vinduene bør det vurderes hvilke løsninger som best kan ivareta både hensynet til inn klima og til den historiske fasaden."*

Bygningen har etasjeskiller med stubbloftleire mot kaldt loft. Etasjeskilleren mot kaldt loft er etterisolert med innblåst isolasjon, estimert til 150mm. Det er også noe skrått tak mot det fri i 3. etasje.

Taktekkingen i ruteskifer skal ha blitt lagt om i 1982. Noen lokale utbedringer av tekking og beslag er utført i 2011. Skifersteinen ligger rett ned på taktro med plast mellom, noe som er en risikabel løsning med hensyn til fuktsikkerhet.

Bygningen har vernet eksteriør, men er kraftig ombygd innvendig i kombinasjon med tilbygget fra 1982. Loftet har mye av det opprinnelige interiøret bevart, samt noen bygningsdeler og løst inventar av skolehistorisk interesse.

## 3.4 Tekniske systemer

### 3.4.1 Ventilasjon

Det er opprinnelig naturlig ventilasjon i bygningen. Ved tilbygningen i 1982, ble det installert balansert ventilasjon i store deler av underetasjen med kantinen og matkultur. Samt de store salene som auditoriumet og den gamle festsalen. Ellers er det noen ventiler i veggene, men fremst ventileres det med vinduslufting mellom leksjonene.

Tabell 3.4.1. Ventilasjonsanlegg i kaarstadbygningen [2]

System -nr	Betjener	Installasjons -år	Virkn.grad [%]	SFP [kW/(m <sup>3</sup> /s)]
02_01	Auditorium A-B (K306) 3. etg	1982	75	2,43
02_02	Forming og musikkrom u. etg	1982	75	2,3
02_03	Garderobe/WC	1982	75	3,4
02_04	Kantine, heimkunnskap og toalett i u.etg	1984	75	2
02_05	Auditorium 3. etg og gamle festsal 2. etg	1993	75	3

Ventilasjonen er på mellom 7.00-16.00, 5 dager i uken, 49 uker i året. Utenfor driftstid er ventilasjonen av.

### 3.4.2 Rom- og varmtvannsoppvarming

Bygningen blir forsynt med varmtvann til romoppvarming fra nærvarmeanlegget i nabobygget (idrettsbygg med svømmehall). I nærvarmeanlegget varmes vannet opp med el-kjel. Det er oljekjel som reserve. Oljekjelen er fra 1986 med en årsvirkningsgrad på 78 %.



Nærvarmeanlegget forsyner også varmtvannsbatteriet til ventilasjonen. Kaarstadbygningen har radiatorer som distribusjonssystem, med manuell regulering. Anlegget er mengderegulert og turtemperaturen til radiatorne reguleres etter utetemperaturen. Utekompeniseringskurven varierer mellom 25 °C (min) og 70 °C (max). Sirkulasjonspumpen er trykkregulert og stopper når det ikke er varmebehov [6].



#### 3.4.3 Kjøling

Det er ikke kjøling i bygningen og det er problemer med overtemperaturer under store deler av året.

#### 3.4.4 Belysning og utstyr

Store deler av bygningen har gammel lysarmatur, type T8 [3,5]. Estimert verdi for belysningen er på 12 W/m<sup>2</sup>.



## 4 Energibruk og energiforsyning

### 4.1 Energistatistikk

Statsbygg har dokumentert energibruk for hele bygningen de siste 10 årene. Energirapporten for 2013 viser den totale målte leverte energien for hele Høgskulen i Volda (8 bygninger). Energimerkingen viser energibruken med standardiserte verdier for internlast, driftstider, klima og setpunktstemperaturer. Årssimuleringen er med reelle verdier.

SINTEF vurderte U-verdier på veggen å være for lav i den opprinnelige energiberegningen for energimerkingen. I tillegg ble noen virkningsgrader på oppvarmingsanlegget justert. Den justerte energiberegningen viste et energibruk på 211 kWh/m<sup>2</sup>år for hele bygningen inkludert tilbygget. Vurderingen av tiltak skal kun utføres på den gamle bygningen, Kaarstadbygget, der energibruket er beregnet til 295 kWh/m<sup>2</sup>. Valg av utgangspunkt er forklart mer i detalj i neste kapitell.

Tabell 4.1. Beregnet og målt energibruk. Utgangspunktet er gråskravert.

	Areal [m2]	Totalt graddagskorrigert [kWh]	Spes. graddagskorrigert [kWh/m2]
<b>Opprinnelig energimerking</b>	5 997	1 468 271	245
<b>Opprinnelig årssimulering</b>	5 997	1 142 073	190
<b>Målt energiforbruk, siste 3 år</b>	5 997	1 207 869	201
<b>SINTEF_Hele bygningen</b>	5 997	1 265 786	211
<b>SINTEF_Kaarstadbygget</b>	2800	825857	295
<b>SINTEF_Kaarstadbygget_TEK10 Ventilasjon</b>	2800	695782	248,5

Det er kun én energimåler for varmtvann i nærvarmesentralen, samt en for elektrisitet. Det kreves flere energimålere for å kunne fremskaffe data for formålsdelt reell energibruk for å utføre evalueringen av tiltakene videre.

## 4.2 Utgangspunkt ved vurdering av energieffektiviseringstiltak

Siden det kun er Kaarstadbygningen som skal vurderes, og ikke tilbygget, er denne skilt ut fra energiberegningene, noe som gir et estimert energibehov på 295 kWh/m<sup>2</sup> for Kaarstadbygningen (tabell 4.1).

Som utgangspunkt (basismodell) før lønnsomhetsbetraktninger, er det forutsatt tiltak på ventilasjonen opp til TEK10 nivå. Dette er uansett nødvendig for å få tilfredsstillende inneklima. Energimålinger sammen med simulert energibruk med oppgradert ventilasjon opp til forskriftsnivå, utgjør vårt utgangspunkt for lønnsomhetsbetraktninger av ytterligere energitiltak. Dette gir en energibruk på 248,5 kWh/m<sup>2</sup> (siste raden i tabell 4.1).

## 5. Identifisering av energieffektiviseringstiltak

Grunnet dårlig inneklima er det tatt en beslutning om at ventilasjonen i bygningen skal oppgraderes. Dette innebærer at en del av kostnadene knyttet til flytting av brukere, rigg og drift m.m, må tas uavhengig av energieffektiviseringstiltakene. Disse kostnadene inngår ikke ved lønnsomhetsberegninger av rene energitiltak.

SINTEF har definert ytterligere energieffektiviserende tiltak som kan utføres samtidig, når brukerne allerede har flyttet ut av bygningen. Beregninger er utført for eksisterende bygning og energieffektiviseringstiltak opp til TEK10-nivå og videre opp mot passivhusnivå der det kan være mulig, med tanke på vern og bygningsfysiske forutsetninger. Tabell 5 viser energibesparelsen og investeringskostnaden for de enkelte tiltakene. Alternativ med bokstav a eller b er to alternativer på samme bygningsdel, for å sammenligne om det lønner seg med å investere litt mer. I kostnaden for tiltak på vinduer er det ikke lagt inn kostnad for utskifting til nyere vinduer som er kopier av de opprinnelige vinduer, som kan være et krav grunnet kulturminne.

Etter den første beregningen av energibesparelse og lønnsomhet, velges det mest lønnsomme tiltaket av alternativ a og b for de bygningsdelene der det er aktuelt. Deretter velges det mest lønnsomme tiltaket fra tabell 5 som første tiltak. Videre utføres en ny energiberegning med ny rangering av resterende tiltak, tiltak 2 velges og en ny energiberegning med ny rangering av de resterende tiltakene utføres, osv. Til slutt sitter man igjen med en liste over rangerte tiltak etter lønnsomhet. Årsaken til denne iterative energiberegningsprosessen, er at rekkefølgen mellom energitiltakene påvirker lønnsomheten og flere tiltak sparer samme kWh. Denne iterative prosessen sikrer at man får riktig energibesparelse for hvert tiltak.

**Tabell 5.** Levetid, investering, energibesparelse, kostnadsbesparelse og internrente for de enkelte tiltakene.

TC-rangering	Tiltak	Levetid [år]	Investering [kNOK]	Energi-besparelse [MWh/år]	Total kostnads-besparelse [kNOK/år]	Intern-rente [%]
1	Varmeanlegg- radiatorer (50%) og nye termostatventiler	20	420	52,6	47,3	11,4
2	7 Etterisolere vegg	40	2357	145,0	130,5	4,6
3	4b Etterisolere tak 200 mm	40	568,8	34,7	31,2	4,6
4	4a Etterisolere tak 100 mm	40	504	29,1	26,2	4,2
5	VP med energibrønn og styring	15	3007,2	283,9	255,5	3,2
6	1 Behovsstyrt ventilasjon	15	672	59,4	53,4	2,3
7	2b Skifte eldre vinduer til PH	30	2773	80,1	72,1	-1,5
8	2a Skifte slitte vinduer til TEK	30	2540	63,6	57,2	-2,4
9	5 Belysning	15	182	1,7	5,5	-6,5

Vedlegg 2 viser U-verdi, luftmengde, virkningsgrad og energikilde for de ulike tiltakene.

## 5.1 Tiltak 1 Skifte av radiatorer og termostatventiler

Det mest lønnsomme tiltaket for Kaarstadbygningen er å skifte ut de gamle radiatorene og installere nye termostatventiler. Det er antatt at 50 % av alle radiatorer skiftes. Dette øker effektiviteten på varmesystemet og reduserer oppvarmingsbehovet. Levetiden for radiatorer er estimert til 30 år og 15 år for termostatventilene. Investeringen er estimert til 420 000 kr og energibesparelsen til 52 600 kWh/år. Internrenten ved dette tiltaket er 11,4 %.

**Tabell 5.1.** Energi- og kostnadsbesparelse ved skifte av radiatorer og termostatventiler

	Levetid [år]	Investering [kNOK]	Energi-besparelse [MWh/år]	Total kostnadsbesparelse [kNOK/år]	Internrente [%]
Varmeanlegg- radiatorer (50%) og nye termostatventiler	20	420	52,6	47,3	11,4

## 5.2 Tiltak 2 Etterisolering av yttervegger

Bygningens fasader er vernet, men en innvendig etterisolering kan fortsatt være mulig. Ved å etterisolere ytterveggen med 50mm reduserer man U-verdien fra 1,1 til 0,41 W/m<sup>2</sup>K. *Det må gjennomføres en grundig vurdering av de bygningsfysiske forutsetningene før et slikt tiltak utføres, slik at risikoen for byggskader minimeres.* Levetiden for veggen er estimert til 40 år. Investeringen er stipulert til 2 357 000 kr og energibesparelsen til 128 200 kWh/år. Internrenten for tiltaket er 5,78 %.

**Tabell 5.2.** Energi- og kostnadsbesparelse ved etterisolering av yttervegg

	Levetid [år]	Investering [kNOK]	Energi-besparelse [MWh/år]	Total kostnadsbesparelse [kNOK/år]	Internrente [%]
Etterisolere vegg innvendig, 50mm	40	2357	128,2	115,38	5,78

## 5.3 Tiltak 3 – Etterisolering av tak

Taket er oppdelt i 35 % skråtak i 4. etg og 65 % mot kaldt loft. Etasjeskilleren med stubbloftsleire er etterisolert med innblåst isolasjon. På loftet er det en del loftsrom, men ingen som skal brukes. Det er dermed en mulighet for å etterisolere oppå eksisterende etasjeskiller, men dette krever godkjenning fra kulturminnefaglig. Levetiden for etterisolering av taket er estimert til 40 år. Investeringen er stipulert til 568 800 kr og energibesparelsen er 30 800 kWh/år. Det er altså en mindre investering enn tiltak 2, men med en mindre energibesparelse. Internrenten er omtrent den samme, dvs. 5,75 %.

**Tabell 5.3.** Energi- og kostnadsbesparelse ved etterisolering av tak

	Levetid [år]	Investering [kNOK]	Energi-besparelse [MWh/år]	Total kostnadsbesparelse [kNOK/år]	Internrente [%]
Etterisolere tak 200 mm	40	568,8	30,8	27,72	5,75

## 5.4 Tiltak 4 - CAV til behovsstyrt ventilasjon

Behovsstyrt ventilasjon justerer luftmengden etter tilstedeværelse i kontorene. Dersom det er en lav tilstedeværelse, er det lav luftmengde. Dersom det er høy tilstedeværelse, er det fulle luftmengder. Også når kontorene og seminarrommene brukes utenfor driftstiden tillater ventilasjonsanlegget å bruke lave luftmengder istedenfor fulle luftmengder med CAV. Ved å skifte ut et CAV-anlegg til et behovsstyrt ventilasjonsanlegg kan den gjennomsnittlige luftmengden for bygningen reduseres fra 10 til 6 (m<sup>3</sup>/h)/m<sup>2</sup> i driftstiden og fra 3 til 1 (m<sup>3</sup>/h)/m<sup>2</sup> utenfor driftstiden. Dette kan øke virkningsgraden på varmegjenvinningen med 3 % og redusere spesifikk viftekapasitet (SFP) fra 2,0 til 1,5 kW/(m<sup>3</sup>/s). Se vedlegg 2 for mer informasjon.

Levetiden for ventilasjonsanlegget er estimert til 15 år med en ekstra investering på 672 000 kr og en energibesparelse på 55 200 kWh/år. Internrenten for tiltaket som tiltak 4 i tiltakspakken er 3,32 %.

**Tabell 5.4.** Energi- og kostnadsbesparelse ved behovsstyrt ventilasjon

	Levetid [år]	Investering [kNOK]	Energi-besparelse [MWh/år]	Total kostnads-besparelse [kNOK/år]	Internrente [%]
Behovsstyrt ventilasjon	15	672	55,2	49,68	3,32

## 5.5 Tiltak 5 - Belysning til behovsstyrt LED

Ved skifte av vanlig tradisjonell belysning til LED-belysning halveres energibehovet til belysningen. Et slikt tiltak øker oppvarmingsbehovet, men reduserer strømbruket. LED-belysningen er mer gunstig jo bedre isolert bygningen er og gikk fra å være det minst lønnsomme tiltaket til å bli tiltak 5 etter at isolering av vegger og tak var lagt inn i beregningene. Investeringen innebærer også et redusert vedlikeholdsbehov, med færre skifter av lysepærer. Dette er estimert til 4 000 kr/per år.

Levetiden for belysningen er estimert til 15 år. Investeringen er stipulert til 182 000 kr og energibesparelse er 10 700 kWh/år. Tiltaket er tilnærmet likt tiltak 4 når det gjelder lønnsomhet, med en internrente på 3,22 %.

**Tabell 5.5.** Energi- og kostnadsbesparelse ved etterisolering av yttervegger

	Levetid [år]	Investering [kNOK]	Energi-besparelse [MWh/år]	Total kostnads-besparelse [kNOK/år]	Internrente [%]
Belysning	15	182	10,4	9,36	3,22

## 5.6 Tiltak 6 – Skifte vinduer til PH-vinduer

Bygningen har vinduer fra 50- og 80-tallet som er i dårlig stand. To alternativer ble vurdert, enten skifte vinduene til TEK10-standard eller til passivhusstandard (PH). Det viste seg å være mest lønnsomt å velge PH-vinduer. I kostnaden for tiltak på vinduer er det ikke innlagt kostnad for utskifting til nyere vinduer som er kopier av de opprinnelige vinduer.

Levetiden for vinduene er stipulert til 30 år. Investeringen er stipulert til 2773 000 kr. Energibesparelsen er 65 500 kWh/år og gir som tiltak 6 i tiltakspakken en negativ internrente på -0,68 % (dvs. ulønnsom).

**Tabell 5.6.** Energi- og kostnadsbesparelse ved å skifte vinduer

	Levetid [år]	Investering [kNOK]	Energi-besparelse [MWh/år]	Total kostnads-besparelse [kNOK/år]	Internrente [%]
Skifte vinduer eldre enn 1984 til PH-vinduer	30	2773	65,5	58,95	-0,68

## 5.7 Tiltak 7 Installering av bergvarmepumpe

Energisystemet består av nærvarme med elkjel og en oljekjele som reserve. En større investering som kan gi en stor energibesparelse i et kaldt klima, er en bergvarmepumpe.

Levetiden for bergvarmepumpen er estimert til 15 år med en investering på 3 007 000 kr og kan gi en energibesparelse på 128 000 kWh. Energisparepotensialet er blitt redusert i takt med at man har utført de andre 6 tiltakene.

Internrenten for tiltaket som tiltak 7 i tiltakspakken er negativ (dvs. ulønnsom): -4,24 %.

**Tabell 5.6.** Energi- og kostnadsbesparelse ved bergvarmepumpe

	Levetid [år]	Investering [kNOK]	Energi-besparelse [MWh/år]	Total kostnads-besparelse [kNOK/år]	Internrente [%]
VP med energibrønn og styring	15	3007,2	128	115,2	-4,24

## 6 Tiltakspakke basert på Total Concept metoden

### 6.1 Inndata for lønnsomhetsberegninger

Ved lønnsomhetsberegningene er det tatt utgangspunkt i byggherrens internrentekrav på 4,15 %. Det er videre estimert en relativ økning av energiprisen med 2 % over inflasjonen og økonomisk levetid er satt til 60 år.

Energipris per energikilde finnes i tabell 6.1.

**Tabell 6.1** Økonomisk inndata lønnsomhetsberegning

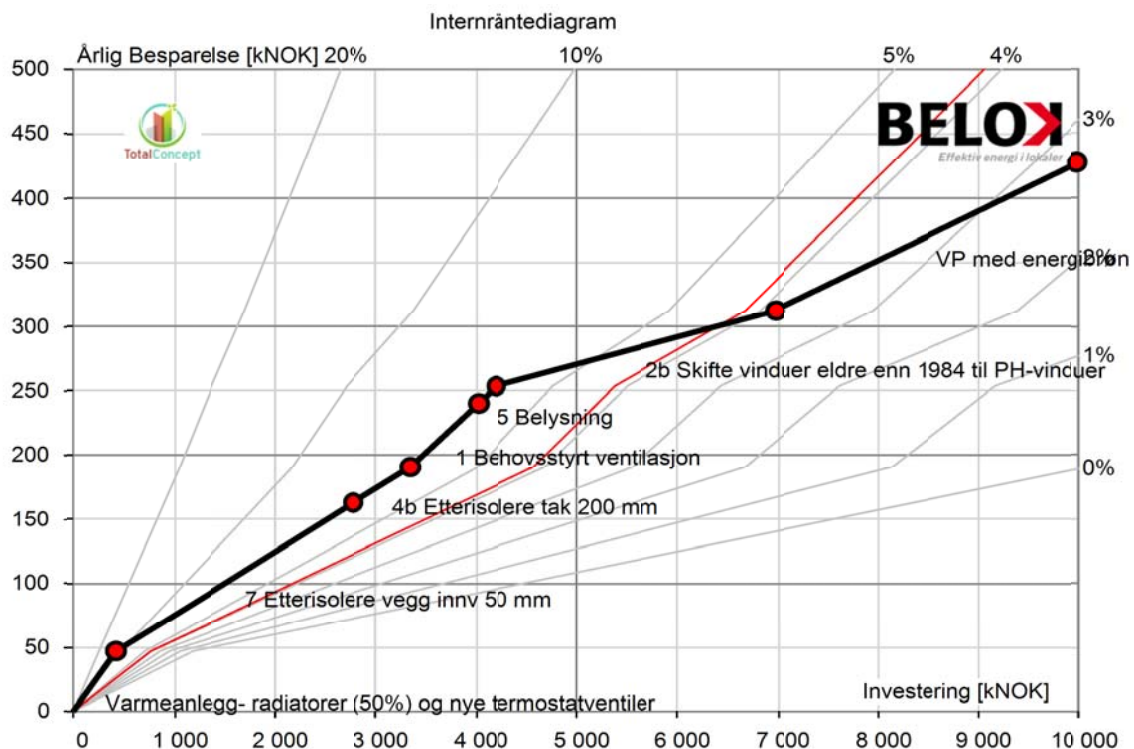
Internrentekrav	4,15 %
Energiprisøkning	2,0 %
Energipris termisk energi	1,0 kr
Energipris elektrisitet	1,0 kr
Økonomisk levetid	60 år

### 6.2 Resultater

Ved lønnsomhetsberegningen for oppgradering av Kaarstadbygningen har 7 energieffektiviseringstiltak blitt vurdert. Tiltakene er rangert i rekkefølge etter lønnsomhet i tabell 6.2. Bilde 6.2a visualiserer investering og energibesparelse per tiltak. De 5 første tiltakene tilfredsstillter, *som pakke*, byggherrens internrentekrav på 4,15 %. Tiltak nr. 6 ligger akkurat under på 3,85 %.

**Tabell 6.2** Lønnsomhet av tiltakspakke i energibesparelse, kostnad og internrente

TC-rank	Tiltak	Levetid [år]	Investering [kNOK]	Internrente [%]	Energi-besparelse [MWh]	Total kostnads-besparelse [kNOK]	Summen av Internrente [%]	LCC [kNOK]
1	Varmeanlegg- radiatorer (50%) og nye termostatventiler	20	420	11,4	52,6	47,3	11,4	-260,07
2	Etterisolere vegg innv. 50mm	40	2357	5,78	128,2	115,38	6,39	569,3
3	Etterisolere tak 200 mm	40	568,8	5,75	30,8	27,72	6,27	140,11
4	Behovsstyrt ventilasjon	15	672	3,32	55,2	49,68	6,02	398,47
5	Belysning	15	182	3,22	10,4	9,36	5,95	110
6	Skifte vinduer eldre enn 1984 til PH-vinduer	30	2773	-0,68	65,5	58,95	3,85	2905,08
7	VP med energibrønn og styring	15	3007,2	-4,24	128	115,2	2,69	4139,28



## 7 Konklusjoner

Ved hjelp av Total Concept metoden er en tiltakspakke med 5 energieffektiviseringstiltak definert som lønnsom.

- 1 Varmelegg- radiatorer (50%) og nye termostatventiler
- 2 Etterisolere vegg innvendig 50mm (krever bygningsfysisk vurdering)
- 3 Etterisolere etajseskiller mot loft 200 mm (krever tilstand fra kulturminne faglig)
- 4 Behovsstyrt ventilasjon
- 5 Belysning

Tiltakspakken reduserer den leverte energien med 277 200 kWh/år, 100 kWh/m<sup>2</sup>år.  
Tiltakspakkens totale investeringskostnad er 4 200 000 kr og gir en summert internrente på 5,95 %.

I en vernet bygning som Kaarstadbygningen fins det fortsatt muligheter for å utføre ambisiøs rehabilitering. Ved å utføre denne tiltakspakken skulle Kaarstadbygningen redusere sitt energibruk med 40% , fra 248 til 148 kWh/m<sup>2</sup> år.



## Vedlegg 1. Inndata til energisimulering: Utgangspunkt for eksisterende bygning

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m <sup>2</sup> ]:	1473	
Areal tak [m <sup>2</sup> ]:	720	
Areal gulv [m <sup>2</sup> ]:	700	
Areal vinduer og ytterdører [m <sup>2</sup> ]:	481	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m <sup>2</sup> ]:	2800	
Oppvarmet luftvolum [m <sup>3</sup> ]:	9113	
U-verdi yttervegger [W/m <sup>2</sup> K]	1,03	
U-verdi tak [W/m <sup>2</sup> K]	0,74	
U-verdi gulv [W/m <sup>2</sup> K]	0,26	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m <sup>2</sup> K]	2,23	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	17,2	
Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]:	0,20	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m <sup>2</sup> K]	108	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	5,00	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	80	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	80,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m <sup>3</sup> /s]:	2,00	
Luftmengde i driftstiden [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	10,40	
Luftmengde utenfor driftstiden [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	0,00	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,74	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m <sup>2</sup> ]:	80	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	19,8	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m <sup>2</sup> ]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	10,0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	10,6	
Driftstid belysning (timer)	10,0	
Driftstid utstyr (timer)	10,0	
Oppholdstid personer (timer)	10,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	12,00	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	12,00	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	11,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	11,00	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m <sup>2</sup> ]	0,80	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m <sup>2</sup> ]	6,00	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,75	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/utspring (N/Ø/S/V):	0,79/0,71/1,00/0,88	
Inndata klima		
Beskrivelse	Verdi	
Klimasted	Ørlandet	
Breddegrad	63° 25'	
Lengdegrad	9° 22'	
Tidssone	GMT + 1	
Årsmiddeltemperatur	5,9 °C	
Midlere solstråling horisontal flate	108 W/m <sup>2</sup>	
Midlere vindhastighet	5,6 m/s	
Inndata energiforsyning		
Beskrivelse	Verdi	
1a Direkte el.	Systemvirkningsgrad romoppv.: 0,72 Systemvirkningsgrad varmtvann: 0,90 Systemvirkningsgrad varmebatterier: 0,90 Kjølefaktor romkjøling: 2,50 Kjølefaktor kjølebatterier: 2,50 Energipris: 0,80 kr/kWh CO <sub>2</sub> -utslipp: 395 g/kWh Andel romoppvarming: 90,0% Andel oppv, tappevann: 90,0% Andel varmebatteri: 90,0 % Andel kjølebatteri: 100,0 % Andel romkjøling: 100,0 % Andel el, spesifikt: 100,0 %	
2 Olje	Systemvirkningsgrad romoppv.: 0,73 Systemvirkningsgrad varmtvann: 0,73 Systemvirkningsgrad varmebatterier: 0,73 Kjølefaktor romkjøling: 2,50 Kjølefaktor kjølebatterier: 2,50 Energipris: 0,85 kr/kWh CO <sub>2</sub> -utslipp: 284 g/kWh Andel romoppvarming: 10,0% Andel oppv, tappevann: 10,0% Andel varmebatteri: 10,0 % Andel kjølebatteri: 0,0 % Andel romkjøling: 0,0 % Andel el, spesifikt: 0,0 %	

## Vedlegg 2. Inndata for energieffektiviseringstiltakene

	Energiltak	Enhet	Eksisterende med TEK10 ventilasjon	Tiltak
1	Ventilasjon - fra CAV til DCV			
	Ventilasjonsluftmengde i driftstiden	[(m <sup>3</sup> /h)/m <sup>2</sup> ]	10	6
	Ventilasjonsluftmengde utenfor driftstiden	[(m <sup>3</sup> /h)/m <sup>2</sup> ]	3	1
	Temperaturvirkningsgrad for varmeveklser	[%]	80	83
2a	Skifte vinduer fra 1950, 1981-1984 + 1997 til TEK10 vinduer	[W/m <sup>2</sup> K]	2,7; 2,8	1,2
2b	Skifte vinduer fra 1950, 1981-1984 + 1997 til PH-vinduer	[W/m <sup>2</sup> K]	2,7; 2,8	0,8
3	Varmeanlegg- isolering av rør, nye radiatorer (50%) og nye termostatventiler. Økt virkningsgrad		$\eta_{\text{dist}}= 0,92$ $\eta_{\text{rom}}=0,82$	$\eta_{\text{dist}}= 0,96$ $\eta_{\text{rom}}=0,89$
4a	Tak- Etterisolere tak mot kaldt loft, med 100mm mineralull	[W/m <sup>2</sup> K]	0,8	0,24
4b	Tak- Etterisolere tak mot kaldt loft, med 200mm mineralull	[W/m <sup>2</sup> K]	0,8	0,14
5	Behovstyrt LED belysning	[W/m <sup>2</sup> ]	8	4
6	Skifte energiforsyningen til Grunnvarmepump for oppvarming og kjøling, inkl. ventilasjonsvarme/kjøling		El/olje-kjele 90% / 10% oppvarming	VP 85 % oppvarming 60 % kjøling
7	Vegger: Innvendig etterisolering med 50mm mineralull	[W/m <sup>2</sup> K]	1,1	0,43