



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Hvilke energi- og kostnadseffektive tiltak må utføres for å oppnå et nullenergi kontorbygg i Haugesund?



Bacheloroppgave utført ved

Høgskolen Stord/Haugesund – Studie for ingeniørfag

Maskin, Prosess- og energiteknikk

Av: Amalie Hantho
Raymond Hantho

Kand.nr: 16
Kand.nr: 18

BACHELORPROSJEKT

Studenten(e)s navn: Amalie Hantho og Raymond Hantho

Linje & studieretning: Maskiningeniør, prosess- og energiteknikk

Oppgavens tittel: Hvilke energi- og kostnadseffektive tiltak må utføres for å oppnå et nullenergi kontorbygg i Haugesund?

Oppgavetekst:

I forbindelse med nye byggeprosjekter blir det ofte benyttet mindre energieffektive løsninger enn hva som er tilgjengelig. Små tiltak kan ha store utslag på energibruken for et bygg. På bakgrunn av dette har PDS Protek AS satt som mål å bygge et energieffektivt kontorbygg (24/7 bygget) ned mot TEK-10 pris. Denne oppgaven skal komme med forslag til aktuelle og nyttige energieffektive tiltak for å oppnå et slikt nullenergi kontorbygg. Oppgaven skal undersøke hvilke byggetekniske og energiproduserende tiltak som er tilgjengelig med dagens teknologi, samt foreta en vurdering av disse i henhold til energibesparelse og kostnad. Målet med oppgaven er å komme med et konkret og balansert forslag til utforming av energiløsninger for dette bestemte kontorbygget. Aktuelle støtteordninger, standarder og byggeforskrifter, samt teori tilknyttet dagens og fremtidens energieffektive bygg vil belyses i oppgaven.

I arbeidet med oppgaven vil det benyttes verktøy for simulering av tilstanden i bygget ut i fra bruk av ulik design, isolasjon og energitiltak. Verktøyet som tas i bruk er SIMIEN energiberegningsprogram.

Endelig oppgave gitt: Fredag 6.mars 2015

Innleveringsfrist: Fredag 5.mai 2015 kl. 12.00

Intern veileder: Vidar Frette

Ekstern veileder: Frode Styve, Eta energi as

Adresse ekstern veileder: Holmegata 81, Postboks 99, 5523 Haugesund

**Godkjent av
studieansvarlig:
Dato:**

Brit Fullø
23/4 -15



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Høgskolen Stord/Haugesund
Studie for ingeniørfag
Bjørnsonsgt. 45
5528 HAUGESUND
Tlf. nr. 52 70 26 00
Faks nr. 52 70 26 01

Oppgavens tittel Hvilke energi- og kostnadseffektive tiltak må utføres for å oppnå et nullenergi kontorbygg i Haugesund?		Rapportnummer <i>(Fylles ikke ut)</i>
Utført av Amalie Hantho Raymond Hantho		
Linje Maskin	Studieretning Ingeniør	
Gradering Åpen	Innlevert dato 07/05-2015	Veiledere Prof. Vidar Frette / Frode Styve (ETA Energi AS)

Ekstrakt

Målet med oppgaven er, etter vurdering, å komme med forslag til hvilke energi- og kostnadseffektive tiltak som er best egnet ved prosjektering og bygging av et nullenergi kontorbygg.

Det har i arbeidet med denne oppgaven kommet frem et konkret og balansert forslag til utforming av energiløsninger for et spesifikt nullenergi kontorbygg som skal bygges i Haugesund. Forslaget er utarbeidet i henhold til gjeldende standarder og forskrifter. Aktuelle støtteordninger og teori tilknyttet dagens og fremtidens energieffektive bygg belyses i oppgaven.

Forord

Rapporten er skrevet som en del av faget Bacheloroppgave Maskin (ING 3039), som avslutning for en 3-årig maskiningeniørutdanning ved høyskolen Stord/Haugesund. Det kommer også en muntlig fremstilling den 11. juni 2015, samt en A3-plakat og et ``produkt``, herunder populærvitenskapelig artikkel, som presenterer prosjektet. Målet for oppgaven er at studentene skal vise at de er i stand til å arbeide selvstendig med en gitt problemstilling der de bruker de kunnskapene de har tilegnet seg gjennom studiet.

Vi kontaktet ETA Energi i forkant av prosjektet og forhørte oss om de hadde mulige problemstillinger de kunne tenke seg å få undersøkt. Dette er et firma som ikke hører innunder oljeindustrien, men som arbeider aktivt opp mot temaer som energiforbruk og energibesparelse. Da vi interesserer oss for fornybar energi ønsket vi å skrive oppgave for dem. Etter møte med ekstern veileder ble vi presentert en lærerik og kunnskapsnyttig oppgave. Bakgrunnen for oppgaven var at PDS Protek AS hadde som målsetning å bygge et energieffektivt kontorbygg ned til TEK-10 pris. ETA Energi fungerte her som energirådgivere og ønsket å inkludere studenter i arbeidet med å foreslå aktuelle og nyttige energieffektive tiltak for å oppnå et slikt nullenergi kontorbygg.

Vår oppgave ble dermed å undersøke hvilke byggetekniske og energiproduserende tiltak som er tilgjengelig med dagens teknologi, foreta en vurdering av disse, og deretter komme med forslag til hvilke tiltak som er best egnet ved prosjektering av dette spesifikke kontorbygget.

Vi vil gi en stor takk til ETA Energi AS som har gitt oss en spennende prosjektoppgave. Videre vil vi takke våre veiledere professor Vidar Frette (intern) og Frode Styve (ekstern, ETA Energi) for gode innspill og veiledning. Vi vil også gi en stor takk til Kari Marie Holmstrøm (ETA Energi) for god hjelp med svar på spørsmål og informasjons innhenting.

Med vennlig hilsen

Haugesund 6.mai 2015

Amalie Hantho

Raymond Hantho

Innhold

Forord	ii
Figurliste	v
Tabeller	vi
Sammendrag.....	1
1.0 Innledning	2
1.1 Energieffektivisering av bygningssektoren	2
1.2 Teknologier som trengs for å oppnå tilnærmet nullenergistandard	3
1.3 Fremtidens bygninger.....	4
Passivhus.....	4
Fra passivhus til nullenerginivå (Nullenergihus/Net Zero Energy Buildings)	6
Plusshus – et forbedret nullenergihus (Powerhouse Kjørbo).....	8
Fra nullenergi og plusshus til fremtidens nullutslipp bygg (ZEB).....	10
1.4 Støtteordninger for fornybar energi i Norge.....	11
Enova	12
El-sertifikatordningen.....	13
Plusskundeordningen (NVE)	13
Innovasjon Norge	13
Norges Forskningsråd – ENERGIX	14
1.5 Standarder, energimerkeordningen og byggeforskrifter	14
Passivhusstandard NS 3700 og NS 3701.....	14
Standard for energibruk NS 3031 og NS-EN 13829.....	15
Energimerkeordningen	16
TEK 10 – Kap 14 Krav til energieffektivitet	17
2.0 Tiltak for økt energieffektivitet	19
2.1 Tekniske tiltak.....	19
2.1.1 Energieffektiv ventilasjon	19
2.1.2 Energieffektive løsninger for oppvarming og kjøling	28
2.1.3 Solkraft.....	40
2.2 Byggetekniske tiltak.....	53
2.2.1 Miljøvennlige energiløsninger gjennom god design	53
2.2.2 Metoder for passiv utnyttelse av solvarme.....	53

2.2.3	Isolasjonsmaterialer som bidrar til redusert energibruk.....	54
2.2.4	Vinduer.....	65
2.2.5	Grønne tak.....	73
2.2.6	Belysning.....	75
3.0	24/7-bygget – ambisjon om et nullenergibygget i Haugesund	80
3.1	Problemstilling.....	80
3.2	Avgrensning.....	80
3.3	Prosjektinformasjon – 24/7-bygget.....	80
4.0	Simuleringsprogrammet SIMIEN	85
5.0	Forslag til tiltak for 24/7 bygget.....	89
5.2	Tekniske tiltak – Ventilasjon.....	89
5.2	Tekniske tiltak – Varmepumpe og borehull	91
5.2.1	Borehull.....	92
5.3	Tekniske tiltak – Solfanger.....	95
5.4	Tekniske tiltak – Solceller	97
5.5	Byggetekniske tiltak – Isolasjon.....	103
5.6	Byggetekniske tiltak – Vindu	105
5.7	Byggetekniske tiltak – Grønne tak.....	107
5.8	Byggetekniske tiltak – Belysning	108
5.9	Eksempel på støttenivå Enova	109
6.0	Diskusjon	111
6.1	Ventilasjon.....	111
6.2	Varmepumpe.....	112
6.3	Solceller.....	112
6.4	Vindu og isolasjon	116
7.0	Konklusjon	118
8.0	Kilder	120
	Vedlegg.....	i

Figurliste

Figur 1 Bjørnsletta skole (ProduktFakta, 2014).....	6
Figur 2 Graf som viser netto nullbalanse for et nullenergibygg (Sartori et al., 2010).	7
Figur 3 Solcelleanlegg Powerhouse Kjørbo (Futurebuilt, u.å).	9
Figur 4 Powerhouse Kjørbo utside (Futurebuilt, u.å.).....	9
Figur 5 Energimerke (Mysen, 2010).	16
Figur 6 Oppvarmingskarakter (NVE, 2014).....	17
Figur 7 Betongplate med integrerte vannrør (Yu et.al. 2014).....	27
Figur 8 System for diffus takventilasjon (Yu et.al. 2014)	28
Figur 9 Stømningsbilde: Kaldras fra vindu/oppvarming fra kilde (Wigenstad et.al. 2012)	30
Figur 10 Varmeelement plassert under vindu (Wigenstad et.al. 2012).....	30
Figur 11 Luft/Luft varmepumpe (NOVAP, u.å.)	33
Figur 12 Luft/vann varmepumpe (NOVAP, u.å.)	33
Figur 13 Bergvarme varmepumpe (NOVAP, u.å.)	34
Figur 14 Jordvarmepumpe (NOVAP, u.å.).....	34
Figur 15 Sjøvannsvarmepumpe (NOVAP, u.å.)	35
Figur 16 Grunnvannsvarmepumpe (NOVAP, u.å.).....	35
Figur 17 Avtrekksvarmepumpe (NOVAP, u.å.)	36
Figur 18 Prinsipiell oppbygging av en plan solfangermodul (Andresen, 2008).....	41
Figur 19 Snitt gjennom en vakuumsolfanger med ” direkte gjennomstrømning ” (Andresen, 2008).....	42
Figur 20 Prinsippskisse av en vakuumsolfanger med ” heat-pipe ” –prinsippet (Andresen, 2008).....	42
Figur 21 Photovoltaic Estimation Haugesund (Onyx Solar, u.å.).....	48
Figur 22 Photovoltaic Estimation Haugesund (Onyx Solar, u.å.).....	49
Figur 23 Glassull (Allbiz, u.å.).....	55
Figur 24 Polystyren. Kjent ved navnet Styrofoam (Antenocitis workshop news & blog, 2010).	57
Figur 25 Cellulose sprayeres mot en vegg (Mlive Media Group (2011).....	58
Figur 26 Vakuumisolasjonspaneler (Promat, u.å).	62
Figur 27 Aerogel (Marketech International Inc, u.å).	64
Figur 28 Vindu med triple glass (Schuco, u.å.).....	66
Figur 29: Senter U-verdi for trelags ruter og med 90% gaskonsentrasjon i hulerommene.	68
Figur 30: U-verdi for firelags vinduer og med 95% gaskonsentrasjon i hulerommene.	69
Figur 31 Illustrasjon kuldebro (Lavenergiprogrammet, 2013)	70
Figur 32 Totalt varmetap fra kuldebroer (Lavenergiprogrammet, 2013).....	71
Figur 33 Tiltak for motvirking av kuldebro (Lavenergiprogrammet, 2013)	71
Figur 34 Kuldebroverdier sett i forhold til vinduplassering (Lavenergiprogrammet, 2013)....	72
Figur 35 Torvtak (Fossli, u.å).	73
Figur 36 Illustrerer avrenninger ved grønne tak (Figur: O. Lindholm, UMB)	75
Figur 37: LED (Thon, 2005).....	78
Figur 38 24/7-bygget fasade mot sør og vest.....	81
Figur 39 Simulering av kritisk sone	86
Figur 40 Sammenheng mellom varmepumpe og borehull	92

Figur 41 Graf energibruk varmepumpe og kostnad	94
Figur 42 Andel varmebehov dekket av solvarme	96
Figur 43 Solcelle Innotech Solar	99
Figur 44 Solcelle Sunpower	99
Figur 45 Tilgjengelig takareal 24/7-bygget	101
Figur 46 Tilgjengelig fasadeareal 24/7-bygget	113

Tabeller

Tabell 1 Oversikt fremtidens bygninger	4
Tabell 2 Norske ZEB-definisjonsnivåer (Dagen, 2014)	11
Tabell 3 Bestemmelse av kriterier for energiytelse (Mysen, 2010)	15
Tabell 4 Varmetilskudd fra personer (Nylund, 2014) (Larsen, 2014)	39
Tabell 5 Arealplan 24/7-bygget	83
Tabell 6 Data lokasjon Oslo (SIMIEN)	85
Tabell 7 Vurdering opp mot NS 3701	87
Tabell 8 Vurdering hvor krav ikke er oppfylt (ProgramByggerne, 2015)	87
Tabell 9 Grovestimat for solfanger anlegg	97
Tabell 10 Resultat av energiberegninger i SIMIEN	104
Tabell 11: Minstekrav satt etter TEK 10.	106
Tabell 12 U-verdi for ulike typer vinduer	106
Tabell 13 Grovestimat 24/7-bygget	109
Tabell 14 Grovestimat 24/7-bygget med solfangere	110
Tabell 15 Forslag til tiltak for 24/7-bygget	118

Sammendrag

Bakgrunn: Bakgrunnen for oppgaven var at PDS Protek AS hadde som målsetning å bygge et energieffektivt kontorbygg (nullenergibygg) ned til TEK-10 pris. Vår oppgave var å undersøke hvilke byggetekniske og energiproduserende tiltak som er tilgjengelig med dagens teknologi, samt foreta en vurdering av disse i henhold til energieffektivitet og kostnader. Målet med oppgaven ble dermed, etter vurdering, å komme med forslag til hvilke energi- og kostnadseffektive tiltak som er best egnet ved prosjektering og bygging av et nullenergi kontorbygg. Aktuelle støtteordninger, standarder og lovverk ble tatt med i vurderingen.

Hensikt: Det foreliggende studiet har til hensikt å utforme en god og nyttig rapport som kan benyttes ved vurdering av ulike energi- og kostnadseffektive tiltak som kan benyttes ved prosjektering og bygging av et nullenergibygg ned til TEK 10 pris.

Metode: Oppgaven vil være basert på en metode som er inspirert av et systematisk litteraturstudie. Dette innebærer at problemstillingen besvares ut i fra tidligere skrevet litteratur og informasjon. Valgt litteratur fokuserer på aktuelle og informative kilder som danner grunnlag for å dra beslutninger om emnet.

Konklusjoner: Energieffektivisering av bygninger er et interessant tema som det er nyttig å ha kunnskap om som ingeniører. Rapporten gir et informativt overblikk av emnet og kan bidra til økt forståelse for hvordan prosessen rundt det å foreslå nyttige tiltak utarter seg. Etter grundig vurdering ble følgende tiltak anbefalt:

Installasjoner	Tiltak
Ventilasjon	Balansert ventilasjon med varmegjenvinning og behovsstyring.
Oppvarming og kjøling	Væske/væske varmepumpe med borehull og bruk av solfanger.
Solkraft	Solceller på tak.
Isolasjon	Mineralull i vegger og tak. Polyuretan (byggeskum) rundt vinduer. Stivt polyuretan mot grunnen.
Vindu	Tre lag med glass.
Tak	Bruk av grønne tak (takhage).
Belysning	LED downlights i alle oppholdsrom, inkludert garasje og teknisk rom.

1.0 Innledning

I denne delen av rapporten vil vi først kort ta for oss dagens bygningssektor, før fokuset flyttes over på fremtidens bygninger, da nærmere bestemt passivhus, nullenergihus og plusshus. Vi kommer også til å nevne de støtteordninger som er tilgjengelige for fornybar energi i Norge, samt de standarder og byggeforskrifter som er gjeldende ved prosjektering av et bygg.

1.1 Energieffektivisering av bygningssektoren

Globalt står bygninger bak ca. 40 % av alle klimagassutslipp. Dersom man ikke setter i gang tiltak for å forbedre byggsektoren vil denne tilsvare 80 % av dagens totale utslipp i 2050. Det er derfor ønskelig fra Statens side å redusere klimagassutslipp fra norske bygg innen 2020. For å oppnå dette er det nødvendig å igangsette en energieffektivisering av gamle og nye bygg. Sammenlignet med vanlig byggstandard er det mulig å spare 12 TWh per år, noe som tilsvarer energibruken i ca. 600 000 boliger. Man kan dessuten oppnå økt sysselsetting og verdiskapning ved å gjennomføre energieffektivisering i byggsektoren. Den innsparte energien kan blant annet komme til nytte ved eksport av elektrisitet til utlandet, elektrifisering av bilpark og jernbane, samt elektrifisering av offshoreinstallasjoner. Også behovet for utbygging av nye kostbare anlegg for varmeproduksjon og elproduksjon vil bli redusert og man kan bli kvitt all oljefyring (Mysen, 2010).

EUs fornybardirektiv (20-20-20) krever en slik energieffektivisering og vil sette krav til ny fornybar energi. Målet er å innføre 20 % mer fornybar energi innen 2020, samt redusere klimagassutslippene og energibruken med 20 %. Dette er føringer som har stor innvirkning på Norges energipolitikk (European Commission, 2015). EU har også kommet med direktiver som har direkte innvirkninger på byggsektoren og som kan sees i sammenheng med fornybardirektivet. I EUs Bygningsdirektiv (EPBD) fra 2012 ble det vedtatt at alle bygg skal være tilnærmet selvforsynte med energi (nullenergibygg) innen 2020 og at offentlig sektor skal leie og eie bygninger med tilnærmet nullenergistandard etter 2018 (Concerted Action, 2014). Dette setter krav til økt bruk av fornybar energi og nytenking innen byggsektoren. Det er altså behov for en radikal endring av dagens byggepraksis og en skjerping av energikravene i tekniske forskrifter. For å oppnå dette, kreves det at man har utstrakt opplæring og økt innovasjon i byggenæringen, samt økonomiske og politiske virkemidler som

driver endringen.

I de kommende tiårene vil utvikling av bygningssektoren i en mer bærekraftig retning stå helt sentralt. Innovasjonstempoet i byggenæringen må skrus kraftig opp for å møte dagens og fremtidens miljøutfordringer. I 2030 må dagens løsninger være erstattet med andre og bedre løsninger.

1.2 Teknologier som trengs for å oppnå tilnærmet nullenergistandard

Tradisjonelt stilles det krav til energi i byggets bruksfase. Det blir angitt krav til maksimalt energibehov per kvadratmeter bruksareal i byggeforskrifter og standarder. Med passivhusstandarden har man fått strengere energikrav for boliger og næringsbygg. Disse er knyttet til bruken av bygningen og favoriserer løsninger som gir lavt energibehov. Elektrisitet til for eksempel belysning og oppvarming/kjøling av bygget er hovedkilden til klimagassutslippene fra en bygnings bruksfase. Andre kilder til utslipp er rehabilitering, utskifting av innredninger og vedlikehold (Risholt, Time, Andresen og Gustavsen, 2015).

For å få redusert disse utslippene kan man ta i bruk eller utvikle teknologier som reduserer energibruken. En av disse teknologiene er bruk av mer effektive isolasjonsmaterialer som vakuumisolasjon, samt robuste og kostnadseffektive konstruksjonsløsninger som integrerer nye materialvalg for å redusere varmetapet gjennom omhyllingsflater. Omhyllingsflater er her summen av de innvendige arealene (m^2), inklusive åpninger, som omhyller branncellen. Målet er å finne løsninger som minimerer luftlekkasjer og kuldebroer. Også gode vinduer og glassfasader må tas i bruk, da med fokus på tiltak mot utvendig kondens og isolerte profiler/rammekonstruksjon. En annen viktig teknologi som må implementeres er bruk av mer effektiv ventilasjon hvor varmegjenvinning og formålstyrt energibruk står sentralt. Fokuset vil være VAV-anlegg (behovstyring av luftmengdene) som er mer robuste og rimeligere, samt mer effektive varmegjenvinnere, vifter og motorer. Når det gjelder selve energiforsyningen, så vil det her være fornuftig å benytte seg av lokale løsninger for utnyttelse av fornybar energi som varmepumpe, solcelle og solfanger. Det må også tas hensyn til inneklimate med fokus på luftkvalitet, behovstyrt belysning, luftbåren varme og formålstyrt energibruk (Mysen, 2010).

1.3 Fremtidens bygninger

Ved årtusenskiftet var det i byggenæringen liten til ingen interesse for å bygge særlig bedre enn minimumskravene. Det ble derfor i år 2000 satt i gang et forskningsprosjekt om lavenergiboliger med fokus på utredning, planlegging og bygging av disse, og i 2005 ønsket regjeringen lavenergistandard som minstekrav. I 2007 ble "lavenergi light" innført som minstestandard og det ble satt krav til energiforsyning i nye bygninger. I 2009 bestemmer EU at nye bygg skal være tilnærmet nullenergibygg innen 2020. Over 3000 passivhus er under planlegging med i underkant av 50 passivhus ferdigstilt. I 2010 vedtok Oslos bystyre at alle kommunale nybygg skal tilfredsstille krav til passivhusstandard fra 2014 og bygges etter denne. Utviklingen for fremtidens boliger er altså satt, der målet er passivhusstandard eller "Near Zero Energy Building" som minstestandard i nye bygg innen 2020 (Mysen, 2010).

Målet for fremtiden bør være tilnærmet klimanøytral varme- og energiforsyning til bygg der man har økt bruk av biomasse, solenergi og omgivelsesvarme. Hovedfokuset bør være klimahensyn fremfor lønnsomhet.

Fremtidens bygninger	Kjennetegn
Passivhus	Har et lavere energi- og oppvarmingsbehov enn konvensjonelle bygninger. Tar i bruk passive tiltak for å oppnå et lavt effektbehov.
Nullenergihus	Har et redusert energibehov med samtidig generering av elektrisitet fra fornybare energikilder.
Plusshus	Produserer mer energi enn det bruker. Har et lavt behov for elektrisitet.
Nullutslipps bygg	Tar i bruk fornybare energikilder som skal kompensere for CO ₂ - utslipp fra bruk av bygningen, samt utslipp fra transport, riving og produksjon av bygningsmaterialer og komponenter som inngår i bygningens livsløp.

Tabell 1 Oversikt fremtidens bygninger

Passivhus

Passivhus ble definert av Passivhausinstituttet i Darmstadt, Tyskland på 1990-tallet ut i fra et funksjonelt kriterium: "Et passivhus er en bygning med komfortabelt inneklima, som er mulig å oppnå kun med ettervarming eller etterkjøling av uansett nødvendige

ventilasjonsluftmengder” (Passivhusinstitutt, 2006).

Sett i forhold til dagens minstekrav og nye boliger har passivhus et vesentlig lavere energi- og oppvarmingsbehov, da nærmere bestemt ca. 25 % lavere varmebehov og ca. 50 % lavere energibehov (Mysen, 2010). I et passivhus tar man i bruk flest mulig passive tiltak for å redusere energibehovet. Disse tiltakene kan være bruk av superisolerte vinduer, passiv utnyttelse av solvarme, balansert ventilasjon, ekstra god tetthet i bygget, kuldebrofrie ytterkonstruksjoner og ekstra varmeisolasjon m.m. I et passivhus må det maksimale effektbehovet ligge under 10 W/m^2 og det beregnede årlige energibehovet til romoppvarming må ikke overstige 15 kWh/m^2 . Det er først når disse to hovedkriteriene oppfylles at man kan kalle et bygg et passivhus. En viktig del av et passivhus er bruk av ulike varmegjenvinningssystemer (Passivhus, 2009). Passivhus vil kunne ha langt billigere og enklere varmeanlegg som følge av det lave effektbehovet til romoppvarming. Passivhus må også ha miljøvennlig energiforsyning som innebærer liten til ingen bruk av fossile energikilder (Mysen, 2010).

Det er forutsatt at ca. 50 % av tappevannsbehovet for et passivhus skal dekkes av biovarme, varmepumpe og/eller solvarme. Behovet for energi skal altså reduseres så mye som mulig og det resterende energibehovet skal dekkes av fornybar energi. Dette er en viktig strategi som man bør følge ved prosjektering av et passivhus. Varmetapet skal først reduseres før man på en effektiv måte forsøker å utnytte solvarmen. Deretter velger man en oppvarmingsløsning og en energikilde som er tilpasset det lave oppvarmingsbehovet. Lavenergi-belysning og et styringssystem som kan redusere denne belysningen og ventilasjon når boligen ikke er i bruk er også et fornuftig tiltak. På denne måten unngår man overoppvarming og reduserer elektrisitetsforbruket (Dokka & Hermstad, 2006).

Bjørnsletta skole i Oslo er et godt eksempel på et forbilde-bygg som tar i bruk passivhusstandard og krav til miljøutslipp. Dette er en fullskala passivhusskole der det i et livsløpsperspektiv er stilt krav til miljøegenskapene til materialene og CO_2 -utslipp. Det er nemlig bestemt at skolene som blir ført opp av Undervisningsbygg i Oslo skal ha passivhus som standardkrav. For passivhus er kravene til tetthet 0,6 luftutskiftninger per time ved 50 Pascal, det vil si at all luft i boligen blir utskiftet ca hver annen time, på Bjørnsletta skole har

de oppnådd 0,16. For å få nøyaktig levering av luft er skolen utstyrt med aktive ventiler styrt av sensorer som måler tilstedeværelsen, temperatur og CO₂. Varmt tappevann og varme til oppvarming hentes fra sytten 200-meters dype hull og varmepumpe, mens spisslast kommer fra en elkjel. Av materialer er det blitt tatt i bruk resirkulert stål og lavkarbon betong. Det man har og kan lære av dette prosjektet er at selv om passivhus innebærer høyere investeringskostnader vil det etter hvert lønne seg å bygge med lavt energibruk. Med grove overslag kan man for dette prosjektet si at vinduer, isolasjon og andre forhold knyttet til bygningskroppen vil være nedbetalt etter 20 til 25 år, mens belysning vil være nedbetalt etter 5 til 6 år. Tar man i betraktning at skolen skal være i bruk i 60 år, vil lønnsomheten komme etter hvert (Seehusen, 2014).



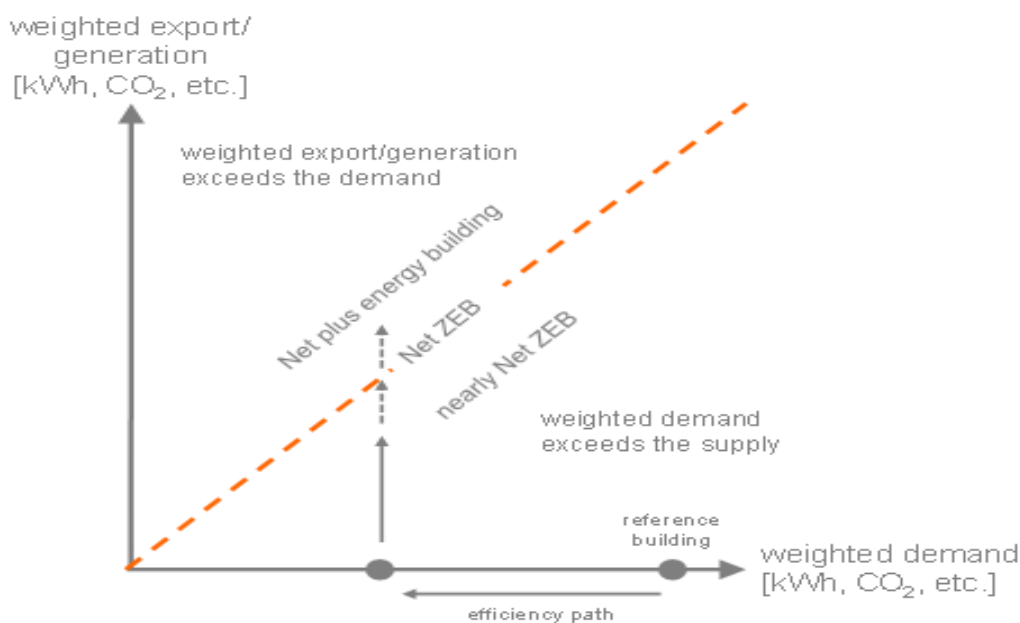
Figur 1 Bjørnsletta skole (ProduktFakta, 2014)

Fra passivhus til nullenerginivå (Nullenergihus/Net Zero Energy Buildings)

Nullenergibygg (Net ZEB) er en bygning med sterkt redusert energibehov som kan balanseres av en tilsvarende «onsite» generering av elektrisitet, eller andre energibærere, fra fornybare kilder. En bygning er karakterisert av en bestemt last og, i tilfellet for Net ZEB, en eller annen form for generering av energi. Lasten inkluderer ikke bare energibehovet, men også effektiviteten til tekniske installasjoner. Når det gjelder generering av energi så innebærer dette også lagring og omformingstap. Net ZEB benytter fornybare energikilder passivt (solvarme gjennom vinduer) og aktivt (varmepumpe) for å delvis tilfredsstille bygningens last/behov. Disse fornybare energikildene brukes også til å generere energibærere

(elektrisitet) som delvis dekker behovet og delvis mates tilbake til strømmettet. Forholdet mellom import og eksport av energi over en tidsperiode må nemlig være lik null skal man betegne en bygning som Net ZEB/nullenergi (Sartori et al. 2010).

Man kan si at veien for å oppnå nullenergi består av to trinn. Det første trinnet innebærer en reduksjon av energibehovet gjennom tiltak for energieffektivisering. Det andre trinnet er å generere elektrisitet, eller andre energibærere, ved bruk av ulike muligheter for energitilførsel som bidrar til å oppnå en balanse mellom tilført og utnyttet energi (Sartori et



Figur 2 Graf som viser netto nullbalanse for et nullenergibygg (Sartori et al., 2010).

al., 2010).

De fleste nullenergibygg er bygget i Europa og det er få eller ingen av de ``ledende`` NZEB-byggene som er uten solceller. Solstrømproduksjonen blir større desto høyere effektbehovet i bygningen er (Tyholt, 2011). Det er altså svært vanlig for et nullenergibygg å ha solcellepanel, solfanger og/eller varmepumpe. Energibesparende tiltak som små vindusarealer, gjenvinning av varme fra spillvann, sørvendte vinduer, meget god isolasjon og helt tette sammenføyinger i byggets konstruksjon er noe det legges spesielt stor vekt på ved bygging av nullenergibygg. Det er også ønskelig å oppnå så lav U-verdi som mulig og det er derfor vanlig å benytte seg av såkalt superisolasjon (MjøsElement, u.å.).

Når det gjelder utslipp fra rivning, materialer og byggeprosess er det ønskelig at et nullhus også er karbonnøytralt (MjøsElement, u.å.). For å kompensere for utslipp fra ulike faser i levetiden, må bygget generere fornybar energi i bruksfasen. Man skiller vanligvis mellom ulike nivåer for nullutslippsbygg. Det første nivået innebærer at man kun tar hensyn til utslipp fra bruk av bygget. Det andre nivået tar hensyn til utslipp fra både bruk og materialer, mens det tredje nivået tar hensyn til alle utslipp fra bygget gjennom hele levetiden (Risholt et al., 2015).

Norges første nullhus ble bygget i Froland i 2012. Huset ble utstyrt med solfangere og solcellepaneler der man satset på varmegjenvinning fra gråvann. Huset ble simulert etter passivhusstandard NS 3100 og lå på 75 kWh/m²/år totalt. Det er viktig å påpeke at dette er et nullenergihus og ikke et nullutslippsbygg. Fokuset har vært på å få huset til å gå i null gjennom et år uten å veie opp for den energien som gikk til å fremstille byggematerialene (Drevon, 2012).

Plusshus – et forbedret nullenergihus (Powerhouse Kjørbo)

Et plussbygg er et bygg som produserer mer energi enn det bruker. Ved å rehabilitere bygninger til plusshus flytter man bygg fra å være en del av klimaproblemet til å bli en del av løsningen (Færden, 2014). I et plusshus er målet å oppnå et lavt behov for termisk energi og et lavt behov for elektrisitet. For å kunne oppnå dette er det en rekke tekniske og byggt tekniske tiltak som må utføres. Disse innebærer mange av de samme tiltakene som for nullenergibygg, nemlig ekstremt effektiv bygningskropp, bruk av termisk masse, bruk av varmepumpe og solvarme, samt effektiv design og styring av kjøleanlegg og varmeventilasjon. Andre aktuelle tiltak er bruk av energieffektiv belysning og ventilasjon som gir lav energibruk til vifter. Den største utfordringen knyttet til plusshus er å balansere utelbruken ettersom det ofte er knapt med arealer til solceller. Det er derfor viktig med orientering av fasader og tak for best mulig soleksponering. Energibruk til bygging, materialer, vedlikehold og rivning skal også kompenseres for gjennom energiproduksjonen (Tyholt, 2011).

I urbane strøk, der energibehovet er størst, bidrar plussenergibygg med fornybar energi. Samfunnet sparer dermed fremtidige investeringer i infrastruktur for transport av kraft. Plusshus bidrar også til økt forsyningssikkerhet ettersom energi- og effektbehovet reduseres

til en brøkdel av det som er normalt for tilsvarende bygg (Jenssen et al., 2014).

Powerhouse Kjørbo er et godt eksempel på et plussbygg. Dette er verdens første kontorbygg som er energirehabiliterert til plusshus. Dette er et pilotprosjekt som er støttet av Enova gjennom ``Ny teknologi i Fremtidens bygg`` og er et pilotbygg i The Research Centre om Zero Emission Building (ZEB). Gjennom rehabiliteringen er det oppnådd en reduksjon av energiforbruket på over 90 %. De viktigste generatorene for energi i bygget er jordvarme og et omfattende solcelleanlegg på taket. Byggene forsynes med frikjøling om sommeren fra ti energibrønner som også fungerer som en energikilde for varmepumpeanleggene om vinteren. Det har også blitt tatt i bruk effektiv isolering (tykke vegger og tak) og belysning (lysstyring). En av de viktigste årsakene til det svært lave energiforbruket er behovstyrt ventilasjon. Aggregatene er flyttet til toppetasjen og det er laget et system uten avtrekkskanaler. På denne måten får alle kontorene i bygget tilført konstant luft fra ventilasjonsanlegget mens luften inn til åpent landskap og møterom blir regulert. Når det er behov for gjenvinning blir all utgående luft trukket tilbake til aggregatene via trappesjakter. En viktig forutsetning for prosjektet var at innklimaet skulle være bra på tross av at energibruken var redusert. For å oppnå dette ble det tatt i bruk frilagt betong i himling for å bidra med kjøling, samt gode og effektive fasader med solavskjerming (Færden, 2014),



Figur 4 Powerhouse Kjørbo utside (Futurebuilt, u.å.).



Figur 3 Solcelleanlegg Powerhouse Kjørbo (Futurebuilt, u.å.).

(Brekke, 2014).

Fra nullenergi og plusshus til fremtidens nullutslipp bygg (ZEB)

Hovedkonseptet for nullutslipp bygg er at fornybare energikilder som er tilgjengelige på byggestedet skal kompensere for CO₂-utslipp fra bruk av bygningen, samt utslipp fra produksjon, transport og rivning av alle de bygningsmaterialene og komponenter som inngår i hele bygningens livsløp (Jelle & Gustavsen, 2014). Klimagassutslippene til produksjon av materialer avhenger i stor grad av hvor råvarene er produsert. Materialer produsert i land med mer forurensede energiproduksjon vil ha høyere utslipp enn tilsvarende materialer produsert i Norge. Det vil derfor være et godt klimavalg å ta i bruk en norskprodusert byggevarer. Et annet viktig tiltak for å få ned CO₂-utslippene er resirkulering og gjenbruk av materialer. Det er derfor viktig å tenke effektiv bruk av materialer ved design av bygninger. Andre bidragsyttere til utslipp fra en bygning er materialer i fundamenter, ventilasjonsanlegg, bæresystem, energisystem, oppbygning av tak og fasader, samt avfall fra byggeplassen (Andresen et al. 2015).

I Norge har vi et nasjonalt forskningssenter, Zero Emission Buildings, som arbeider med å finne ut hvordan vi kan lage bygninger som i løpet av sin levetid ikke bidrar med klimagassutslipp. Her jobber forskere fra NTNU og Sintef sammen med noen av byggenæringens mest framtidsrettede bedrifter, der både nye og eksisterende bygninger studeres. Bygningene må kunne motstå et endret og mer ekstremt klima, ha et godt inneklima og fuktsikre konstruksjoner. Ved forskningssenteret arbeides det med alt fra bygging av reelle pilotbygg i full skala til utvikling av nye isolasjonsmaterialer via teknologiske løsninger for styring av energibruk (Gustavsen, Andresen, Lisø & Jacobsen, 2014).

ZEB foretar også CO₂-analyser og miljøvurderinger av utslippene fra materialer og de prosessene som gir elektrisitet og varme til bygningene (Andresen et al. 2015).

ZEB-COM	ZEB-ambisjonsnivå hvor utslipp fra konstruksjon, operasjonell energibruk og materialer er kompensert for med bruk av fornybar energi på stedet.
----------------	---

ZEB-OM	ZEB-ambisjonsnivå hvor utslipp fra operasjonell energibruk og materialer er kompensert for med bruk av fornybar energi på stedet.
ZEB-O	ZEB-ambisjonsnivå hvor utslipp fra operasjonell energibruk er kompensert for med bruk av fornybar energi på stedet.
ZEB-O/EQ	ZEB-ambisjonsnivå hvor utslipp fra operasjonell energibruk minus energibruk til utstyr (PC, prosjektorer osv.) er kompensert for med bruk av fornybar energi på stedet.

Tabell 2 Norske ZEB-definisjonsnivåer (Dagen, 2014).

Tabell 2 viser hvordan ZEB skiller mellom fire definisjons nivåer for utslipp. Det er svært krevende å nå det høyeste nivået og det er fortsatt ingen som har klart det. Videre forskning er altså nødvendig for å oppnå en bærekraftig framtid (Andresen et al. 2015).

Konkluderende kan en si at fremtidens bygg vil tilby brukerne lavere energikostnader og godt inneklima. En viktig del av arbeidet for et mer klimavennlig samfunn vil være energieffektivisering av bygninger (Lånke, Smits & Holthe, 2013).

1.4 Støtteordninger for fornybar energi i Norge

I det norske energimarkedet må i utgangspunktet alle energiformer konkurrere på fritt grunnlag. Man har likevel muligheten til å søke om økonomisk støtte dersom man utvikler prosjekter innen fornybar energi. Denne støtten formidles hovedsakelig via statsforetaket Enova som forvalter Energifondet, men også via andre offentlige bidragsytere. Opprettelsen av Enova SF og det statlige energifondet var begrunnet med at man i energi- og miljøpolitikken hadde som hovedmål å redusere klimagassutslippene. Dette målet rettfærdiggjør en rekke statsstøttede tiltak innenfor miljøvennlig energiproduksjon og energieffektivisering (St.meld. nr. 22 (2001-2002)). Dette inkluderer tilskudd til investeringer i bygg og anlegg.

Hovedårsakene til at man i Norge støtter fornybar energi er industri- og næringsutvikling, forsyningssikkerhet, importuavhengighet og miljø- og klimahensyn. En forutsetning for økonomisk stabilitet og vekst er sikker tilgang på rimelig energi.

Enova

Enova SF har som mål å redusere klimagassutslipp i Norge ved å bidra til omlegging av energibruken. Enova er lokalisert i Trondheim og eies av Olje- og energidepartementet. Enova som virksomhet finansieres via tildelte midler fra Energifondet, som igjen finansieres gjennom nettpåslaget. Nettpåslaget er et lite kostnadspåslag på strømrregningen (Enova, u.å.).

Energifondet skal forvaltes på en slik måte at det reduserer klimagassutslippene og styrker forsyningssikkerheten (Nysetvold, 2014). Gjennom økonomisk støtte og rådgivning skal Enova bidra til utvikling av klima- og energiteknologi, samt drive fram en miljøvennlig omlegging av energiproduksjon og energibruk (Enova, u.å.).

For å realisere potensialet for energikutt i bygg investerer Enova i ulike deler av byggenæringen. Fokuset er utvikling av framtidsrettede løsninger og teknologi med støtte til oppgradering av eksisterende bygg og energieffektive nybygg. Ettersom fornybar varme reduserer bruken av olje, gis det også støtte til boliger/bygg som benytter seg av slike varmeløsninger (fjernvarme, varmepumpe) (Enova, u.å.). I Enovas program ``Energieffektive nybygg`` er det opp til søkerne å velge de teknologiene de ønsker å benytte seg av, men det stilles likevel et minstekrav til ambisjoner. Programmet fremmer innovasjon i byggenæringen. Nullenergibygg vil også kunne få investeringsstøtte her. Denne støtten utgjør mellom 8 og 10 kroner per kWh spart energi i forhold til å bygge etter gjeldende byggeforskrifter (Nysetvold, 2014).

Et annet viktig virkemiddel på energiområdet er El-sertifikatordningen (se neste avsnitt). Forvaltningen av energifondet må skje i sammenheng med denne. El-sertifikatordningen er teknologinøytral, noe som gjør at de mest kostnadseffektive teknologiene vil vinne fram. Det er nemlig disse som vil gi de raskeste resultatene. For å unngå å komme i konflikt med denne ordningen tilbyr ikke Enova investeringsstøtte til el-produksjon basert på allerede tilgjengelig teknologi, ettersom konkurransen må være reell. Ny teknologi for produksjon av elektrisk kraft vil derimot kunne motta investeringsstøtte fra Enova. Her høster man nemlig nyttig erfaring for fremtidige prosjekt som igjen bidrar til høyere kvalitet og lavere kostnader (Nysetvold, 2014).

El-sertifikatordningen

Hovedmålet med elsertifikatordningen er å stimulere til økte investeringer i ny fornybar kraftproduksjon. Investeres det i fornybar kraftproduksjon av et selskap, vil dette selskapet kunne motta elsertifikater fra strømkundene gjennom strømrregningen, som så kan selges videre i det norske-svenske elsertifikatmarkedet. På denne måten kan målet om mer fornybar strøm nås ettersom produsentene da får en inntektskilde i tillegg til strømprisen. Støtten gis uavhengig av hvilke fornybar energikilde som benyttes, noe som innebærer at mange produsenter benytter seg av den teknologien som gir høyest lønnsomhet. Elsertifikatordningen finansieres enten ved at kraftleverandøren legger kostnaden inn i strømprisen til strømkundene eller ved at de selv kjøper elsertifikater. Målet er at sertifikatmarkedet skal bidra til å finansiere utbygging av 26,4 TWh fornybar kraftproduksjon i Sverige og Norge innen 2020 (Fornybar, u.å.).

Plusskundeordningen (NVE)

En sluttbruker av elektrisk energi som i enkelte driftstimer har overskudd av kraft som kan mates inn i nettet defineres som en plusskunde. Man må forespørre sitt lokale nettselskap for å bli plusskunde og ordningen er frivillig for begge parter. Overskuddskraften fra kunden kan altså kjøpes av nettselskapet, som igjen setter nødvendige krav til tilknytningen som sikrer anlegg og er i tråd med forskrifter og lover. Normale rettigheter og plikter til spenning- og leveringskvalitet er det plusskunden som skal opprettholde. Dette innebærer også leveringsplikt, anleggsbidrag og tilknytningsplikt med mer. I en egen avtale mellom nettselskap og plusskunde fastsettes prisen for overskuddskraften (Fornybar, u.å.).

Innovasjon Norge

Innovasjon Norge har som mål å oppnå økt sysselsetting og næringsutvikling ved å støtte bedrifter som skal kommersialisere eller utvikle ny teknologi. Gjennom utviklingstilskudd og risikolån bidras det til næringsutvikling, hvor en miljøvennlig energiomlegging oppnås som følge av innovasjonsprosjekter. Innovasjon Norge bidrar også til en effektiv forvaltning av energiressurser gjennom Miljøteknologiordningen som gir støtte til bedrifter som utvikler miljøforbedrende teknologi (Fornybar, u.å.). Denne ordningen gjelder for investeringer og utvikling i Norge (Innovasjon Norge, u.å.).

Norges Forskningsråd – ENERGIX

Norges Forskningsråd gir støtte til prosjekter med stor grad av utvikling og/eller forskning der målet er å oppnå bærekraftig og effektiv utnyttning av norske ressurser. Dette vil igjen bidra til økt verdiskapning i norsk næringsliv (Fornybar, u.å.).

Innen avdelingen for energi har forskningsrådet ansvaret for et stort program energi kalt ENERGIX. Dette er et 10-årig forskningsprogram med start i 2013 som støtter forskning på effektiv energibruk, energipolitikk, fornybar energi og energisystem. Målet med programmet er å sørge for at nye, gode konsepter og ideer kan bli utviklet ved å legge til rette for bredde i forskningen (Forskningsrådet, 2012).

1.5 Standarder, energimerkeordningen og byggeforskrifter

Passivhusstandard NS 3700 og NS 3701

NS 3700 er en standard for lavenergi- og passivhus som kom i 2010 (oppdatert mai, 2013) og gjelder for boliger. NS 3701 derimot kom i 2012 og er en standard for lavenergi- og passivhus for næringsbygg. I disse standardene settes det minstekrav til lekkasjetall, bygningsdeler og komponenter, samt krav til energiforsyning, oppvarmingsbehov og varmetap. For boliger bygget etter passivhusstandarden skal ikke oppvarmingsbehovet overstige 15 kWh/m² per år for Oslo klima uavhengig av hvor i Norge bygget ligger (Fornybar, u.å.).

NS 3700 angir tre nivåer for energieffektive boligbygninger, nemlig passivhus, lavenergihus klasse 1 og lavenergihus klasse 2. Kravene gjelder for hele bygninger, men kriteriene kan også benyttes til prosjektering av deler av en bygning. NS 3700 gjelder både for rehabilitering av eksisterende og for nye boligbygninger. Ved å ta i bruk en slik standard kan man vurdere om bygningen tilfredsstillende oppfyller kravene til lavenergihus og passivhus, samt stille utførelseskrav til bygningstekniske arbeider for slike bygg/hus. NS 3700 benyttes også til å stille krav til de bygningselementer og produkter som benyttes i passivhus og lavenergihus (Standard, 2014).

NS 3701 angir to nivåer av energieffektive yrkesbygninger, disse er passivhus og lavenergibygning. Som for NS 3700 gjelder kravene for hele bygningen hvor det stilles krav til

prøveprosedyrer, lekkasjetall, rapportering av energiytelse ved ferdigstilling og målemetoder for energiytelse.

I tabell under vises de komponentverdiene som må til for å nå et oppvarmingsbehov på 15kWh/m²år:

Komponenter	Komponentverdier
U-verdi yttervegg	0,12 W/m ² K
U-verdi gulv	0,08 W/m ² K
U-verdi yttertak	0,09 W/m ² K
U-verdi vinduer	0,80 W/m ² K
Varmegjenvinning (η)	80 %
Ψ'' Normalisert kuldebroverdi	0,03 W/m ² K

Tabell 3 Bestemmelse av kriterier for energiytelse (Mysen, 2010).

Standard for energibruk NS 3031 og NS-EN 13829

NS 3031 er en standard med nasjonale regler for beregning av en bygnings energiytelse. Energiberegninger for bygninger skal derfor utføres i henhold til denne med tanke på energimerking og kontroll i henhold til byggeforskriftenes energikrav. De beregningene det settes fokus på er hovedsakelig beregning av levert energi, varmetapsbudsjett, CO₂ utslipp, primær energi, netto energibudsjett og varmetapstall. Standarden skiller videre mellom tre forskjellige beregningsalternativer, nemlig månedsberegninger (stasjonære), detaljerte beregningsprogrammer (dynamiske) og forenklet timeberegning (dynamiske (Lavenergiprogrammet, u.å.).

Ved å bruke metoden i henhold til alternative løsninger kan NS 3031 brukes til å optimalisere energibehovet til en ny bygning, samt vurdere effekten av mulige energiltak på eksisterende bygninger. Standarden kan også brukes til dokumentasjon av teoretisk energibehov i energimerkeordningen av bygninger, bygningers netto energibehov og varmetap ved omfordeling av energiltak gitt i teknisk forskrift (Lavenergiprogrammet, u.å.).

NS-EN 13829 er en standard som brukes til bestemmelse av bygningers luftlekkasje i forbindelse med kartlegging av bygningens termiske egenskaper. I henhold til NS-EN 13829 måles byggets lekkasjetall med såkalt ``blower door`` utstyr. Også differensialtrykkmetoden beskrives i standarden, dette er en metode hvor lufttettheten av en klimaskjerm karakteriseres (lavenergiprogrammet, u.å.). Ved å ta i bruk denne metoden kan man sammenlikne den relative luftlekkasjen i flere like bygninger, samt identifisere kildene til lekkasje. Metoden kan også benyttes på eksisterende boliger, som har utført forbedringstiltak, for å kunne bestemme reduksjonen av lekkasjeluftmengde. Metoden egner seg altså best til diagnostisering (Standar Norge, 2010). NS-EN 13829 dokumenterer altså om krav til tetthet er oppfylt etter NS 3700 (Lavenergiprogrammet, u.å.).

Energimerkeordningen

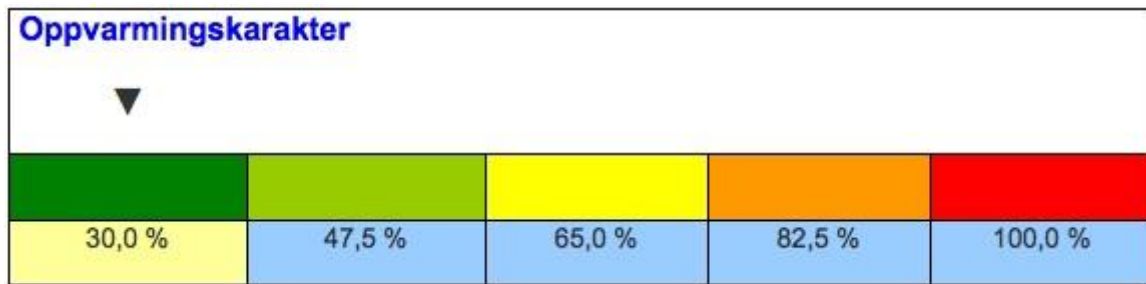
Fra 1. Juli 2010 ble det bestemt at energiattest skal alle yrkesbygg og boliger som leies ut eller selges ha. Denne energiattesten skal vise en bygnings energistandard gjennom et energimerke, som består av en oppvarmings- og energikarakter. Målet med dette er å øke kunnskapen og bevisstheten om energibruk og de ulike løsningene som kan gjøre bygningen eller boligen mer energieffektiv. Ekspertene lager energiattest for nye boliger og yrkesbygg. For eksisterende boliger er det vanlig at boligeierne lager energiattest selv (Norges vassdrag- og energidirektorat (NVE), 2014).

Energikarakteren er basert på levert energi og går fra A til G (Figur 5). Når det gjelder byggets oppvarmingskarakter så gis denne etter hvilke oppvarmingssystem som er installert og består av en femdelt fargerangering fra rødt til grønt (Figur 6) (NVE, 2014). Grønn farge betyr lav andel av elektrisitet, olje eller gass til oppvarming, mens rød farge betyr høy andel. Det er ønskelig at oppvarmingsmerket skal stimulere til økt bruk av solenergi, varmepumper og biobrensel (Mysen, 2014). Energikarakteren og oppvarmingskarakteren er uavhengig av hverandre. Et bygg kan altså ha en dårlig energikarakter, men samtidig også en god



Figur 5 Energimerke (Mysen, 2010).

oppvarmingskarakter (NVE, 2014).



Figur 6 Oppvarmingskarakter (NVE, 2014)

TEK 10 – Kap 14 Krav til energieffektivitet

I forskriften om tekniske krav til byggverk (TEK 10) kapittel 14 står det at miljøriktig energiforsyning og lavt energibehov skal fremmes når byggverk prosjekteres og utføres. Det er bygningens oppvarmede bruksareal (BRA) disse kravene gjelder for. Det påpekes også at NS-3031 skal brukes som standard ved beregning av varmetapstall og energibehov. Når det gjelder energieffektivitet skiller man mellom to metoder, rammemetoden og tiltaksmetoden, for å oppfylle kravene til energieffektivitet. Tiltaksmetoden (§ 14-3) fokuserer på de enkelte bygningsdelene og komponentene, samt hvilke krav som må oppfylles i forhold til disse. Rammemetoden (§ 14-4) derimot fokuserer på å oppfylle krav til samlet netto energibehov for bygget, der bygningens form vil gi stort utslag. Det er derfor gunstig å velge denne metoden dersom man ønsker å vise gevinsten av en kompakt bygning. I forskriften TEK 10 er det også satt minstekrav til lekkasjetall og U-verdier for bygningsdeler (Byggeteknisk forskrift, 2010) (Lavenergiprogrammet, u.å.).

I kapittel 14 §14-3 i TEK 10 er det satt krav til hvilke energikvaliteter en bygning skal ha, dette er enkelttiltak som oppfyller gitte krav. Videre deles kravene til tiltak inn i tre grupper, nemlig varmetap gjennom ventilasjon og luftlekkasjer, varmetap gjennom konstruksjon og øvrige tiltak som vifteeffekt og mulighet for nattsinking av innetemperatur. Kravet til byggets energieffektivitet er oppfylt når en kan dokumentere at samtlige av disse enkelttiltakene er gjennomført (Byggeteknisk forskrift, 2010) (Lavenergiprogrammet, u.å.).

I Kapittel 14 §14-5 i TEK 10 er det satt opp en del minstekrav som et bygg må oppfylle:

1) U-verdi tak < 0,18 W/m²K

2) U-verdi vindu og dør $< 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$

3) U-verdi yttervegg $< 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$

4) Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell $< 3,0$ luftvekslinger per time

5) U-verdi gulv $< 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

6) Rør, utstyr og kanaler skal isoleres

7) Andel vindus- og dørareal av bygningens oppvarmede bruksareal multiplisert med U-verdi for glass/vindu/dør inkludert ramme/karm skal være mindre enn $0,24 \text{ W/K}$.

8) Med mindre det kan dokumenteres at bygningen ikke har kjølebehov, skal total solfaktor for vindu/glass være mindre enn $0,15$ på solbelastet fasade. Total solfaktor for glass/vindu (gt) angir andelen av solstrålingen som slipper gjennom både solskjermingen og glasset (Byggeteknisk forskrift, 2010).

2.0 Tiltak for økt energieffektivitet

I dette kapittelet vil vi ta for oss tiltak som kan gi økt energieffektivitet i et bygg. Vi vil vurdere tiltakene i forhold til energibesparelse og kostnad. Det skilles mellom byggetekniske tiltak (design, isolasjon, grønne tak, vinduer) og tekniske tiltak (solceller, varmepumper, borehull, solfanger, effektiv ventilasjon) som kan bidra til at man oppnår et nullenergibygg.

2.1 Tekniske tiltak

Oppvarming, ventilasjon og klimaanlegg (HVAC) systemer er blant de største forbrukerne av energi i bygninger. Et viktig tiltak for å redusere energibruken i et bygg vil dermed være ytelsesforbedringer for HVAC systemene. Nesten 50 % av energibehovet i næringsbygg brukes til å opprettholde det termiske komfortnivået innendørs. Ettersom folk flest tilbringer mer enn 90 % av tiden innendørs vil utvikling av energieffektive HVAC systemer som ikke er avhengig av fossilt brensel, spille en viktig rolle i reduksjonen av energiforbruket (Vakiloroaya, Samali, Fakhar & Pishghadam, 2013). Den voksende avhengigheten av HVAC systemer i bygninger har resultert i en stor økning i energiforbruket, særlig i sommermånedene.

I denne delen av oppgaven vil vi ta for oss de ulike HVAC systemene med hovedfokus på ventilasjon, oppvarming og kjøling. Det vil fokuseres på de teknologiene som er tilgjengelige i dag, samt mulige fremtidige løsninger. Også løsninger for behovsstyring og belysning vil bli nevnt.

2.1.1 Energieffektiv ventilasjon

Ventilasjon er luftfornyelse i oppholdsrom. Alt etter hvor avansert ventilasjonsanlegget er kan man kontrollere forurensningsgrad, fuktighet og temperatur i et rom. Automatisk regulering er noe alle moderne ventilasjonsanlegg er utstyrt med (Røstad og Havellen, 2009).

God luftkvalitet og fjerning av fukt er hovedgrunnene til ventilerings av bygninger. God luftkvalitet innebærer at luften er frisk og behagelig. Det er også viktig at luften ikke bidrar til helseplager. Gjennom ventilasjon fjernes inneluft som er forurenset samtidig som boligen tilføres ny luft. For å unngå fuktskader i form av soppskader og mugg fjernes fukt produsert i bygget. Det er også ønskelig å unngå kald trekk ved å temperere friskluften som tilføres boligen (Wigenstad, Schild, Klinski & Simonsen, 2012).

I bygninger og boliger er det altså en kontinuerlig luftfornyelse viktig. Ut fra materialbelastning, personalbelastning og forurensing fra aktiviteter i lokalene angis det, som tidligere nevnt (se avsnitt 1.5), krav til minimum lufttilførsel til lokaler i byggeforskrifter (Røstad og Havellen, 2009). Her defineres det en norm for hvor raskt luft skal skiftes ut, nemlig $1,2 \text{ m}^3$ pr kvadratmeter gulvareal per time når rommet er i bruk ($0,7 \text{ m}^3$ når rommet ikke er i bruk) (Huseiernes landsforbund, 2012).

Å redusere den ukontrollerte luftlekkasjen inn og ut av et bygg er et av tiltakene for å redusere energibehovet. Dette innebærer at bygninger bygges tettere, noe som igjen gir manglende utskifting av luft. For å kompensere for dette installeres det derfor et ventilasjonssystem. Mekaniske ventilasjonsanlegg er vanligst, her sørger vifter for at frisk luft tilføres bygget samtidig som tilsvarende luftmengde fjernes. Etersom luften som trekkes ut må erstattes av uteluft som må varmes opp, kan dette kreve mye energi. Det er derfor vanlig at det benyttes en varmegjenvinner slik at energiinnholdet i ventilasjonsluften som trekkes ut kan gjenvinnes. For å kompensere for varmetapet i bygget har det også blitt vanlig å varme opp ventilasjonsluften ytterligere, dette kan sees i sammenheng med framveksten av passivhus. På denne måten har altså ventilasjonsanlegget erstattet det konvensjonelle oppvarmingssystemet ved å opprettholde tre viktige funksjoner. Disse innebærer 1) fjerne fukt fra bygget, 2) holde komforttemperatur i bygget og 3) tilføre frisk luft (Wigenstad et.al, 2012).

Dagens ventilasjonsprinsipper

Man må først kartlegge behovet før man velger løsning for ventilasjonssystemet. Dette behovet vil igjen være avhengig av den varmeeffekten som er nødvendig. Et godt ventilasjonsanlegg skal kunne utnytte energien effektivt, bidra til et godt inneklima, begrense luftfuktigheten, regulere temperatur og forhindre overføring av forurenset luft (Enova, u.å.).

Man skiller vanligvis mellom tre ulike prinsipper for ventilasjon, nemlig naturlig, mekanisk og balansert mekanisk ventilasjon.

Naturlig ventilasjon

Ved naturlig ventilasjon påvirkes luftutskiftingen i bygningen utelukkende av naturkreftene som følge av trykkforskjeller (ute vs. inne). Dette medfører at luftutskiftingen varierer mye

gjennom året. Også utettheter i ytterkonstruksjoner vil kunne medføre luftutskifting (Enova, u.å.). Naturlig ventilasjon er altså et passivt avtrekkssystem hvor luft blir trukket inn og ut av boligen gjennom avtrekksventiler. Vindpåvirkning ved munningen av ventilasjonskanalen over tak og termisk oppdrift er drivkreftene for systemet. Fordelene ved naturlig ventilasjon er at det krever lite vedlikehold og er rimelig å installere. Man unngår også støy fra vifter etc. Ulempene ved denne formen for ventilasjon er upålitelig og manglende ventilasjon ved liten temperaturskjell mellom inne og uteluft (sommer), dårlig komfort (trekk om vinteren) og et stort ventilasjonsvarmetap som igjen gir dårlig totaløkonomi. I tillegg er løsningen arealkrevende. Med mindre kompenserende tiltak gjennomføres kan det være vanskelig å oppnå energikravet i teknisk forskrift (TEK 10) med denne løsningen (Wigenstad et.al, 2012). I tette, moderne bygninger beregnet for faste arbeidsplasser er det heller ikke akseptabelt å ta i bruk naturlig ventilasjon (Arbeidstilsynet, 1991).

Mekanisk ventilasjon

Dette er et aktivt avtrekkssystem som på mange måter fungerer likt som naturlig ventilasjon. Det som hovedsakelig skiller disse to prinsippene er at man ved bruk av mekanisk ventilasjon regulerer luftmengden ved hjelp av avtrekksvifter. Friskluft tilføres gjennom utettheter i bygningskonstruksjoner og ventiler (Enova, u.å.). Fordelene ved bruk av denne metoden er at den krever lite vedlikehold, har lav installasjonskostnad og gir god regulering av avtrekksmengde (luftmengde). Ulempene innebærer dårlig totaløkonomi, fare for kondensering og trekk (dårlig komfort), stort ventilasjonsvarmetap (ingen varmegjenvinning), støy og at man ikke får rensset tilført luft. Ved å ta i bruk avtrekksvarmepumpe kan man derimot forbedre totaløkonomien, men denne kan ikke regnes inn som tiltak som reduserer boligens netto varmebehov iht. TEK 10. Via denne løsningen vil det, som ved naturlig ventilasjon, være vanskelig å oppnå energikravet i teknisk forskrift (Enova, u.å.), (Wigenstad et.al, 2012).

Til kjøling av bygninger har bruk av mekanisk ventilasjon vært førstevalget i mange år, men da med et stort energiforbruk. I noen regioner med moderat klima har det derimot vist seg at mekanisk kjøling kan unngås eller reduseres gjennom god design. Dette innebærer bruk av sol-skjermende komponenter og utstyr som reduserer varme fra solinnstråling og naturlig ventilasjon til fjerning av varme (Yu, Heiselberg, Lei, Pomianowski og Zhang, 2014).

Balansert ventilasjon

Dette prinsippet for ventilasjon består av et viftesystem for avtrekk av brukt luft og tilførsel av frisk rensset luft i omtrent like store mengder. Uteluften (friskluften) fordeles rundt i bygningen via innvendige kanaler og tilføres gjennom ventiler (Wigenstad et.al, 2012). All ventilering skjer altså i kontrollert form via kanaler, noe som igjen krever at boligen er tett (Enova, u.å.).

Balansert ventilasjon med varmegjenvinning er løsningen på det energitapet som mekanisk ventilasjon medfører. Her varmes den tilførte luften gjennom varmeveksling med den luften som går ut (Huseiernes Landsforbund, 2012). Estimater har vist at 70 % av den energien som går tapt ved mekanisk ventilasjon kan gjenvinnes ved bruk av balansert ventilasjon med varmegjenvinning, da 60-95 % av varmen i den brukte luften blir tatt vare på (Alonso, Liu, Mathisen, Ge & Simonsen, 2014).

Fordelen ved bruk av balansert ventilasjon er at man sikrer tilstrekkelig luftskifte med filtrering av tilført uteluft, kontroll på tilførte luftmengder med mulighet til å regulere luftskifte etter behov, god totaløkonomi, lite ventilasjonsvarmetap og fjerning av overskuddsvarme. Andre fordeler er temperert friskluft (unngår kald trekk), jevn fordeling av varme, samt redusert fare for kondens og fuktskader. Ulemper er økt vedlikeholdsbehov, høye installasjonskostnader, plasskrevende installasjon og støy dersom anlegget har mangelfull lyddemping (Wigenstad et.al, 2012), (Enova, u.å.). Videre kan lange kalde perioder gi under 20 % relativ fuktighet inne (anbefalt RF er 25-40 %). Dette er hovedsakelig et komfortproblem, som kan medføre uttørking av slimhinner som igjen gir nedsatt motstandsdyktighet mot sykdom (Sterling, Arundel & Sterling, 1985), (Wyon et.al, 2002). For å kunne løse denne utfordringen kan man redusere luftmengden eller ta i bruk fuktgjenvinnende varmegjenvinnere, som gjenvinner både varme og fuktighet (Wigenstad et.al, 2012).

Balansert ventilasjon med varmegjenvinning er det mest driftssikre, enkleste og økonomiske ventilasjonsprinsippet. Studier har nemlig vist at varmegjenvinning reduserer den negative påvirkningen som romoppvarming har på miljøet ved å redusere varme- og kjølebehovet i godt isolerte bygninger (Blom, Itard & Meijer, 2010), (Chesne, Puofoforestel, Roux og Rusaouen, 2012).

Energiltak for ventilasjon

Varmegjenvinning

Det er vanlig å utstyre ventilasjonsanleggene med varmegjenvinnere (varmvekslere) ettersom avkjøling og oppvarming av ventilasjonsluft er svært energikrevende. Ved å benytte seg av varme fra avtrekksluft, brukt avløpsvann andre varmeprosesser kan man oppnå oppvarming av blant annet tilført uteluft. For skole og kontorbygg benyttes ofte roterende varmegjenvinner med virkningsgrad på 80-90 %. Der det er fare for at avtrekksluften kan inneholde lukt eller irriterende stoffer (kjøkken etc.) må annen type varmegjenvinner med begrenset virkningsgrad (40-60 %) benyttes.

For varmegjenvinner i et ventilasjonsanlegg skal årsmidlere temperaturvirkningsgrad være minimum 70 % i henhold til TEK 10 (80 % for passivhus). Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad er gjennomsnittsverdien for alle varmegjenvinnere i bygningen. En god varmegjenvinner kombinert med balansert ventilasjon gjør det mulig å redusere energitapet via ventilasjonsanlegget med hele 80 % (Wigenstad, 2012).

Behovsstyring

Behovsstyring er et system som, avhengig av belastning, vil tilføre luftmengder til ulike soner/rom. Dette er en mye benyttet teknologi i yrkesbygg hvor bruk av rommene og luftkvalitet (CO₂, luftfuktighet) blir registret med sensorer og ventilasjon regulert deretter. En variant for behovsstyring innebærer at temperatur, tilstedeværelse eller CO₂ registreres og styrer automatiske spjeld til lukking eller åpning. Dette sender så et signal videre til ventilasjonsaggregat som leverer tilpasset luftmengde (Huseiernes Landsforbund, 2012), (Wigenstad, 2012).

Man kan som nevnt styre luftmengden etter en rekke parametere. Nedenfor blir to av disse styringsparameterne diskutert.

CO₂: Et vanlig krav er at CO₂-nivået ikke skal overstige 800 ppm. Dette er et mål på luftkvalitet som vanligvis tas i bruk i lokaler med høy persontetthet som auditorier, møterom, klasserom og lignende. CO₂ er relativt enkelt å måle og er en god indikator på forurensing fra personer (Dokka & Vik, 2001).

Tilstedeværelse: Ut i fra emisjoner fra materialer når det ikke er personer i rommet bestemmes det en minste luftmengde, den maksimale luftmengden bestemmes så ut i fra

emisjoner og personforurensing. Slik kan man styre luftmengder etter tilstedeværelse. I kontorer, hvor man har en relativt god kontroll på hvor mange personer som oppholder seg i rommet, vil tilstedeværelsesstyring av luftmengder være godt egnet (Dokka & Vik, 2001).

Så mye som 30-40 kWh/m²/år kan man spare på luftoppvarming, ventilasjon og luftkjøling ved bruk av god behovsstyring, da uten at det går på bekostning av inneklimate. Det er derimot knyttet stor usikkerhet til den reelle energibesparelsen som anlegg med behovsstyring faktisk gir. For å unngå at et behovsstyrt ventilasjonsanlegg skal bli mer komplisert eller kostbart enn et mer tradisjonelt anlegg må man sørge for at det kjøres en helhetlig prosess fra prosjektering til innkjøring. Fokuset bør være god plassering av givere, riktig kopling og oppsett i SD-anlegg, samt direkte og rask innregulering (Grindahl, 2011).

Temperaturstyring

I ventilasjonsanlegg er vanligvis etter-varmebatteriet tilrettelagt med vannbåren varme eller elektrisk kapasitetsregulering. En ønsket fast temperatur for ventilasjonsluften (typisk 19 °C) er det som styrer denne reguleringen. Ventilasjonsluften varmes vanligvis opp til ca. 18-22 °C og er dermed tilpasset komfortnivået. På denne måten oppnår man en ventilasjonsluft som virker frisk og svakt kjølede. Ventilasjonsanlegget vil også kunne bidra med noe oppvarming dersom romtemperaturen har en tendens til å falle under 19 °C (Wigenstad, 2012). Denne reguleringsformen som kalles for konstant- eller utekompensert tilluft er mye brukt i Norge.

Med hensyn til energi og inneklimate vil et settpunkt på 16 °C på tilluften være ønskelig ved høy avtrekkstemperatur (sommer, høy internlast etc.). Derfor bør tilluftstemperaturen være styrt av temperaturen i avtrekk, for å på denne måten unngå for høye temperaturer i bygget. Dette kalles avtrekkskompensert tilluft og fungerer tilfredsstillende i over 90 % av tilfellene.

Hybrid ventilasjon

Primært benytter denne formen for ventilasjon seg av naturlige drivkrefter for ventilasjon. Dersom behovet, ut i fra værforhold og bruken av bygget, tilsier det, suppleres det med mekaniske tiltak. Hybrid ventilasjon er altså et kompromiss mellom konvensjonelle mekaniske anlegg og naturlig ventilasjon, hvor man tar i bruk hjelpevifter når naturlige drivkrefter ikke er tilstrekkelig (Huseiernes Landsforbund, 2012).

Ved å ta i bruk hybrid ventilasjon kan man redusere elforbruket i ventilasjonssystemet, samt redusere unødig ventilasjon. Denne formen for ventilasjon reduserer nemlig energibehovet

til viftene uten at det går utover luftkvalitet og termisk komfort (Gunner, Hultmark, Vorre, Afshari & Bergsøe, 2014).

Når man benytter hybrid ventilasjon vil mye av luftføringsveiene være i selve bygningskroppen (fasade, vindu, solskorstein, inntakskulverter i grunnen, avtrekkstårn o.l.), noe som igjen bidrar til langt mindre konvensjonelle ventilasjonsinstallasjoner. Man flytter altså store deler av investeringen fra mekaniske installasjoner til selve bygningskroppen. Dette vil igjen sette større krav til arkitektene i form av klimatisering og tilrettelegging av bygningen (Dokka & Vik, 2001).

På tross av sine mange fordeler vil ikke hybrid ventilasjon kunne gi den samme energibesparelsen som varmegjenvinning i et balansert system vil gi (Huseiernes Landsforbund, 2012). Systemet har også en rekke ulemper som dårlig luftkvalitet, støyoverføring, samt økt investeringsbehov. Skal hybrid ventilasjon kunne være et alternativ til konvensjonell klimatisering, må man også implementere avanserte styringssystemer i bygget, noe som igjen kan medføre dyre og komplekse løsninger (Dokka & Vik, 2001).

Reduksjon av energi til vifter

Et av de største potensialene for energisparing i ventilasjonsanlegg er å redusere viftenes energibehov. Den nødvendige energien til viften er avhengig av antall driftstimer, vifteeffekten, luftmengden og det totale trykktapet i systemet. For å kunne redusere energibehovet til vifter er det essensielt å forbedre integrasjonen av ventilasjonssystemer i bygninger, samt redusere trykkfallet i ventiler, kanalsystemet og aggregater. Et annet viktig tiltak er å tilpasse luftmengden til det faktiske behovet (behovsstyring) slik at kontrollsystemet har en betydelig påvirkning på både driftstimer og energibehovet til vifter (Gunner et.al. 2014).

Ventilasjonsstrategier for passiv kjøling

Nattventilasjon

Nattventilasjon er en metode som er passende å ta i bruk for kontorbygg, da disse normalt ikke er i bruk nattetid. Tidligere studier har vist at man i Nord Europa har et stort potensiale for passiv kjøling av bygninger gjennom nattventilasjon (Artmann, Manz & Heiselberg, 2007). Målet med nattventilasjonen er nemlig å fjerne varmetilskudd i bygninger. I kontorbygg med et totalt internt varmetilskudd på maks 30-40 W/m² kan man unngå bruk av mekanisk kjøling

dersom man har nattventilasjon (Yu et.al, 2014). Dersom nattventilasjon designes riktig og nøye kan man redusere de operative temperatur toppene for neste dag med 2-4 °C.

Nattventilasjon har også vist seg å ha et stort potensial for energisparing i forhold til kjøling med typiske reduksjoner på 30-50 %. Effektiviteten til nattventilasjonen vil normalt være svært avhengig av parametere som klimaforhold, varmeovergangskoeffisienter, bygningens termiske masse, varmetilskudd og grad av luftutskiftinger. Hovedfaktoren vil her være den relative temperaturforskjellen mellom uten- og innendørs lufttemperatur (Yu et.al, 2014).

Når lufttemperaturen utendørs er lav nok på nattes tid, kan naturlig eller mekanisk ventilasjon benyttes for å kjøle ned den eksponerte termiske massen til bygget, og på denne måten oppnå en varme senkning i løpet av etterfølgende dag. På tross av konseptets enkelthet er det vanskelig å forutse effekten av nattkjøling, ettersom den, som tidligere nevnt, påvirkes av en rekke ulike parametere. På bakgrunn av dette er mange ingeniører og arkitekter skeptiske til å implementere lav energiteknikker, som nattventilasjon, i kommersielle bygninger (Artmann, Manz & Heiselberg, 2008).

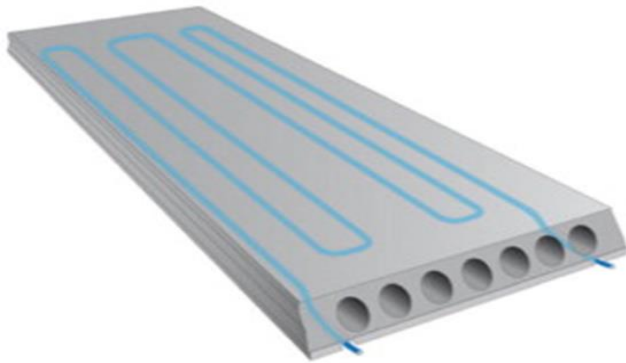
Termisk aktiverte bygningssystemer (TABS)

Ved å utnytte den termiske massen til byggkonstruksjoner kan man redusere kjøle- og varmebehovstopper, samt svingninger i lufttemperaturen innendørs. Overskuddsvarme lagres i bygningsmaterialet og frigjøres på et senere tidspunkt. Om sommeren lagres overskuddsvarmen fra solinnstrålingen i bygningens termiske masse og denne frigjøres så om natten via nattventilasjon. Om vinteren vil denne varmelagringsprosessen delvis kunne dekke oppvarmingsbehovet om natten og en vil lettere unngå overoppheting i perioder av dagen med mye solinnstråling. I kontorbygg kan den termiske massen brukes passivt eller aktivt, enten ved å kombinere termisk masse med naturlig ventilasjon eller ved bruk av termisk aktiverte bygningssystemer (TABS). Passiv utnyttelse av termisk masse kombineres vanligvis med nattventilasjon (Yu et.al, 2014).

TABS er kjøle- og varmesystemer med sirkulerende vann i rør innebygd i betongplatene, som illustrert i figur 7 nedenfor. Slike systemer gir en energieffektiv metode for aktiv integrering av bygningens termiske masse med varme- og kjølesystemer for å redusere belastningstopper. Vanntemperaturen er nær romtemperatur, vanligvis 25-40 °C ved oppvarming og 16-20 °C ved kjøling. Effektiviteten i energibruken økes og bruk av fornybare energikilder som solfanger og varmepumpe blir enklere. TABS kan altså brukes til både

kjøling og oppvarming, men brukes vanligvis til takkjøling. Avkjølte tak gir mer effektiv kjøling sammenlignet med andre romflater (Yu et.al, 2014).

Mange studier har demonstrert vellykket bruk av TABS til kjøling av kontorbygg ved å bruke kald luft utenfra eller varmekilder fra bakken. TABS har altså et stort potensiale til å forbedre termisk komfort innendørs og samtidig optimalisere energiforbruket (Yu et.al, 2014).



Figur 7 Betongplate med integrerte vannrør (Yu et.al. 2014)

Diffus takventilasjon

Diffus takforsyning er et alternativt luftfordelingssystem som benytter seg av hele takhimlingen til luftforsyning (se figur 8). Rommet forsynes her med luft gjennom perforeringer eller tilkoblinger i himlingen. Systemet kan brukes til forsyning av luft med svært lav temperatur uten at det oppstår kald trekk. Dette skyldes den lave farten og effektiv sammenblanding av romluft og tilluft i de små luftdysene. Sammenlignet med tradisjonelle luftforsyningssystemer har takventilasjon en rekke fordeler som lavt trykkfall, høy effektivitet, stor kjølekapasitet, ingen trekk og lav inngangstemperatur (Yu et.al, 2014).

Ut fra alle fordelene med diffus takventilasjon vil dette kunne være et velegnet system for et kontorbygg med høye krav til innendørs luftkvalitet og termisk komfort. Ved å kombinere dette systemet med naturlig ventilasjon vil man kunne eliminere elektrisitetsforbruket til transport av luft (Yu et.al, 2014).



(a) Room with diffuse ceiling inlet (b) Location of ceiling panel (c) Supply opening to the plenum

Figur 8 System for diffus takventilasjon (Yu et.al. 2014)

Ved å kombinere naturlig ventilasjon med TABS og diffus takventilasjon i et eget system, har man potensiale til å oppfylle behovet for kjøling, oppvarming og ventilasjon i kontorbygninger med lavt forbruk av energi og høy termisk komfort gjennom hele året. (Yu et.al, 2014).

2.1.2 Energieffektive løsninger for oppvarming og kjøling

For å kunne oppnå nullenergibygg må man utvikle og ta i bruk gode løsninger for oppvarming og kjøling. Særlig bruk av teknologier for varmegjenvinning er anbefalt. Varmegjenvinning i bygninger kan innebære en rekke ulike strategier som å flytte varme fra en sone til en annen, integrerte løsninger og bruk av utgående ventilasjonsluft (avtrekksluft) (se avsnitt 2.1.1). Implementasjonen av alle disse strategiene innebærer ofte bruk av varmepumpe (Djuric, Novakovic & Frydenlund, 2012).

I kalde klima som Norge vil man kunne oppnå nullenergi ved å ta i bruk høyt isolerende materialer i vegger, tak, gulv og vindu. Dette vil bidra til å redusere oppvarmingsbehovet, se kapittel 2.2.3. Videre må den energien som trengs til elektriske laster og oppvarming bli dekket av et system i bygget som fokuserer på fornybar energi (Dar, Gerorges, Sartori & Novakovic, 2012). Mye brukte teknologier, særlig for oppvarming og kjøling, er varmepumpe og solfanger. Dette delkapittelet vil diskutere både disse løsningene og mer tradisjonelle former for oppvarming.

Punktkilder, gulvvarmesystem og oppvarming via ventilasjonsanlegg

For å dekke oppvarmingsbehovet i småhus er det vanlig å benytte gulvvarmesystemer eller punktkilder (radiatorer/panelovner). Disse varmeelementene er basert på direkte elektrisk energiforsyning og/eller varme fra varmepumpe, sol, gass etc. (Wigenstad et.al, 2012).

En akkumulatortank har typisk elektrisk oppvarming og benyttes som energiforsyning i systemer med vannbåren varme. Fra en akkumulatortank med innebygd varmtvannsbereder kan også varmt forbruksvann tappes. Man kan også benytte varmeveksling for å oppnå varmt forbruksvann. Dette innebærer en direkte oppvarming av sirkulerende kaldtvann. Det anbefales derimot å ta i bruk akkumulering av varmt vann, da dette reduserer effektbelastningen. I forbindelse med solfanger anlegg, kombinerte el-baserte anlegg og varmepumper er akkumulatortank en løsning som ofte benyttes (Wigenstad et.al, 2012).

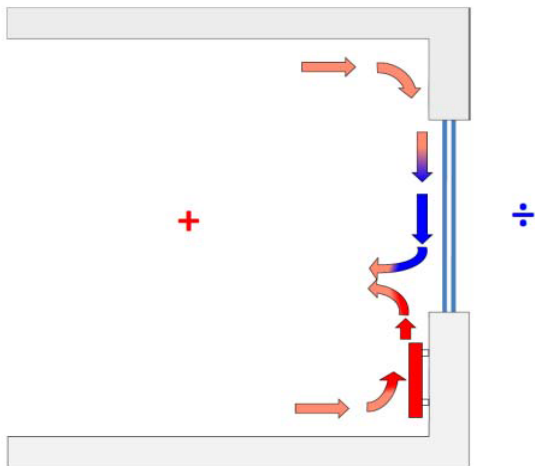
Oppvarming via lokale heteflater og gulvvarme

For å sikre at komfortabel innetemperatur opprettholdes ved alle utetemperaturer anbefales det at heteflatene (gulvvarme, radiatorer og panelovner) dimensjoneres på en måte som balanserer varmetapet fra rommet. Termisk komfort innebærer også, i tillegg til at rommet er i effektmessig balanse, at stråling til ytterflatene reduseres. Dette kan oppnås ved bedre isolasjon på ytterflatene (Wigenstad et.al, 2012). Se kapittel 2.2.3 for nærmere forklaring.

De kaldeste punktene på ytterflaten som bidrar til mest varmetap ved stråling vil normalt være vindusfelt (se figur 9). En typisk løsning for å redusere kulderas (trekk) fra vinduet er å plassere en varmekilde direkte under vinduet (se figur 10). På denne måten oppnår man en lokal oppvarming. Dette baserer seg på det faktum at man, for å holde en akseptabel innetemperatur, må tilføre rommet en effekt (Wigenstad et.al, 2012).

Behovet for kulderassikring har etter hvert falt bort som følge av bedre isolasjonsegenskaper til vinduer, redusert infiltrasjon og bedret isolasjon i yttervegg. Dette har igjen bidratt til at heteflatene kan reduseres i kapasitet/størrelse og plasseres andre steder i rommet. Å installere heteflatene nær fordelingsentralen vil normalt være kostnadseffektivt for anlegg med vannbåren varme (Wigenstad et.al, 2012).

For å dekke varmetapet i nyere eneboliger benyttes det også ofte gulvvarme, med løsningen vannbasert eller direkte elektrisk tilførsel (Wigenstad et.al, 2012).



Figur 9 Stømningsbilde: Kaldras fra vindu/oppvarming fra kilde (Wigenstad et.al. 2012)



Figur 10 Varmeelement plassert under vindu (Wigenstad et.al. 2012).

Radiatorer og gulvvarme i kombinasjon

Panelovner gir ingen valgmulighet når det gjelder energikilde og er dermed en løsning med mangel på fleksibilitet. Produksjon av elektrisk energi gir også en rekke miljøkonsekvenser og mangelen på fleksibilitet gjør at man er bundet til gjeldende priser for elektrisk energi. For å kunne møte disse utfordringene som direkte elektrisk gir, er det nødvendig å utvikle nye systemer for oppvarming. En mulig miljøvennlig løsning kan her være å kombinere vannbasert gulvvarme med radiator, forutsatt at verken elektrisk eller fossil energi brukes til å varme opp vannet. Som nevnt tidligere har vanlig praksis vært å installere en radiator under hvert vindu der vanntemperaturen ligger mellom 60-80 C. Dette er en svært høy temperatur, vannet kan derfor ikke føres direkte inn på gulvvarmesystemet, men må blandes (shuntes) ned til en temperatur på 35-40 C. En slik shunt-installasjon vil medføre økte kostnader, ettersom det vil kreve utstyr som ventiler og ekstra pumpe (Wigenstad et.al, 2012).

Oppvarming via ventilasjonsanlegg

Oppvarming via ventilasjonsanlegget er mye brukt i passivhus, da særlig i Tyskland. Dette baserer seg på at rommene tilføres varm ventilasjonsluft (opp mot 40 C). I Norge er dette en løsning som er lite utbredt ettersom luft med høy temperatur er ansett å bidra til et dårlig inneklima. For å sikre god omrøring av ventilasjonsluften i rommet må nemlig tilluft temperaturen være lavere enn romtemperaturen. På denne måten hindrer man at luft fra

tilluftsventiler til avtrekksventiler kortsletter (Wigenstad et.al, 2012). I Norge vil derfor denne løsningen for oppvarming, sammenlignet med varmepumpe og kombinasjonssystemer, ikke være aktuell å ta i bruk for nybygg med strenge krav til innemiljø. Dette kan derimot bli mer aktuelt dersom man har bygg med et meget lavt oppvarmingsbehov.

Generelle energiltak for oppvarming

Et tiltak for å redusere varmetapet i anlegg med vannbåren oppvarming er isolasjon av rørrettet kombinert med en generell senkning av vanntemperaturen. Et annet viktig energiltak vil være behovstyring basert på temperaturregulering av hovedkrets, mengderegulering via termostatventil i oppvarmingspunktet, samt bruk av kapasitetsregulerende pumper. Disse pumpene virker slik at når termostatventilene stenger, så vil det oppstå en trykkstigning som reduserer sirkulert mengde i rørkretsen (Wigenstad et.al, 2012).

Kombinasjonssystemer

Mekanisk avtrekksanlegg med varmepumpe

Denne løsningen utnytter energiinnholdet i avtrekksluften via en varmepumpe. Slik kan man hente ut den energien som går med til å varme opp uteluften som suges inn i bygget, samt levere den tilbake via romoppvarming. Eventuell overskuddsenergi kan brukes til forvarming av varmt tappevann. Dette vil altså være en mer energieffektiv løsning, men man må samtidig være bevisst på at varmepumpen krever elektrisk energi for å drive sitt maskineri (Wigenstad et.al, 2012).

Balansert ventilasjonsanlegg med varmepumpe

Ved å kople varmegjenvinneren til en varmepumpe i et balansert ventilasjonsanlegg kan man utnytte energiinnholdet i avtrekksluften på samme måte som for et mekanisk avtrekksanlegg (Wigenstad et.al, 2012). Varmepumpen kan også benyttes til kjøling.

Varmepumpeteknologi

Varmepumpeteknologien inngår i EUs fornybardirektiv med krav om COP større enn 2,8 og vil være et viktig bidrag til reduksjon av klimagassutslipp. De siste fem årene har det, som følge av TEK 10, vært et økt fokus på å ta i bruk varmepumper som energikilde. 40-60 % av

oppvarmingsbehovet til en bygning skal nemlig, i henhold til TEK 10, komme fra fornybare energikilder. I Norge selges det årlig rundt 80-90 tusen varmepumpeanlegg (Stene, 2011).

Ved bruk av energi (vanligvis fra elektrisitet) brukes varmepumpen til å hente energi fra et lavt temperaturnivå og bringe denne opp til et høyere temperaturnivå. Energien som hentes opp kommer vanligvis fra sjøvann, jord, uteluft eller grunnvann. Dette regnes som ``gratis`` fornybar energi. Det som skjer er at man i en lukket rørkrets sirkulerer et fluid (arbeidsmedium). Denne rørkretsen består videre av fire hovedkomponenter, nemlig fordampere, kondensator, kompressor og ekspansjonsventil. Ettersom arbeidsmediet vil fordampe/koke ved lav temperatur og lavt trykk, brukes ekspansjonsventilen til å strupe trykket til arbeidsmediet. Etter fordampingen blir gassen (arbeidsmediet) sugd opp av kompressoren hvor den komprimeres til et høyere trykk. Ettersom høyt trykk gir høy temperatur oppnår man nå en overopphetet gass, denne må derfor avkjøles i en kondensator for å komme tilbake til en full eller delvis væskefase. Fluidet befinner seg nå i en gass/væskefase hvor trykket strupes ned ved en ekspansjonsventil og på nytt varmes opp i fordampere. For å gjøre det mulig å varme opp en bygning med en lavtemperert energikilde (sjø, jordvann, uteluft) tilknyttes fordampere til aktuell kilde mens kondensatoren tilknyttes varmeanlegget (NOVAP, u.å.), (Varmepumpeinfo, 2012).

Arbeidsmedium – sirkulerende fluid

Oppstillingssted, temperaturområdet og systemløsning for varmepumpen, samt tilgjengelighet, pris og miljøkonsekvenser er viktige faktorer som må vurderes for å avgjøre hvilke kjølemedium som skal benyttes (NOVAP, u.å.).

Naturlige arbeidsmedier som hydrokarboner, ammoniakk og karbondioksid ble benyttet i de første kuldeanlegg. I 30-årene gikk man over til syntetiske arbeidsmedier (KFK og HKFK), da disse verken var giftige eller brennbare. I dagens anlegg er derimot KFK forbudt og HKFK forbudt i nye anlegg. Dette skyldes det faktum at disse arbeidsmediene bidrar til ozonnedbrytning og drivhusvirkning i atmosfæren. HFK (F-gass) har derfor i stor grad erstattet disse, da dette arbeidsmediet ikke har en nedbrytende effekt på ozonlaget. Det er likevel innført en statlig avgift ved produksjon og innførsel av HFK, ettersom den kan ha en negativ drivhuseffekt. Dette har medført en ny interesse for de naturlige arbeidsmediene. På

grunn av høy kritisk temperatur er ammoniakk godt egnet som arbeidsmedium i varmepumper, men har redusert bruksområde som følge av dens giftighet. Karbondioksid som arbeidsmedium i varmepumper er best egnet ved beredning av varmt tappevann. Ved bruk av karbondioksid kan man arbeide under langt høyere trykk (opptil 150 bar) (NOVAP, u.å.).

Ulike typer varmepumper

Alt etter hvilke energikilde de henter varmen fra deles varmepumper inn i 7 ulike typer.

Luft/Luft varmepumpe

Dette er en varmepumpe som tar i bruk uteluft som varmekilde. Gjennom innedelen av varmepumpen sirkuleres inneluften slik at man får avgitt varme (NOVAP, u.å.).



Figur 11 Luft/Luft varmepumpe (NOVAP, u.å.)

Bruk av luft/luft varmepumpe har en rekke fordeler som moderate investeringskostnader, en lett tilgjengelig varmekilde og bedre inneklima. Det kreves kun små inngrep ved montering av varmepumpen og den kan brukes som aircondition om sommeren (Varmepumpeinfo, 2012).

Ulempene ved bruk av en slik varmepumpe er at den avgir støy og mindre varme i de periodene det er mest nødvendig. En annen ulempe er at avriming, som reduserer anleggets effektgrad, vil være nødvendig ved temperaturer under 2-5 °C. Levetiden til varmepumpens utedel kan reduseres som følge av saltholdig og fuktig luft ute, dette er en ulempe som må tas i betraktning dersom bygningen befinner seg nær kysten (Varmepumpeinfo, 2012).

Luft/vann varmepumpe

Denne varmepumpen benytter uteluft som varmekilde, men varmen avgis inne via radiator



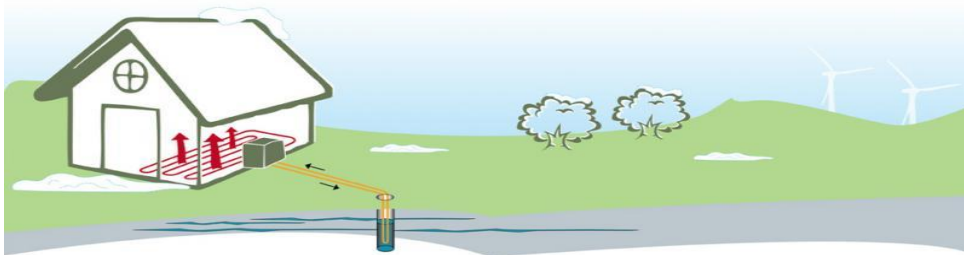
Figur 12 Luft/vann varmepumpe (NOVAP, u.å.)

eller vannbåren gulvvarme. Et slikt anlegg gir jevnere temperatur og bedre varmedistribusjon (NOVAP, u.å.).

Fordeler ved bruk av en slik varmepumpe er lavere investeringskostnader og en lett tilgjengelig varmekilde. Ulempene er de samme som for luft/luft varmepumpe (Varmepumpeinfo, 2012).

Bergvarme varmepumpe

Denne varmepumpen tar i bruk varme fra grunnfjellet og et vannbårent distribusjonssystem.



Figur 13 Bergvarme varmepumpe (NOVAP, u.å.)

Avhengig av energibehov har et borehull normalt en dybde på 60-200 meter (NOVAP, 2012).

Jordvarmepumpe

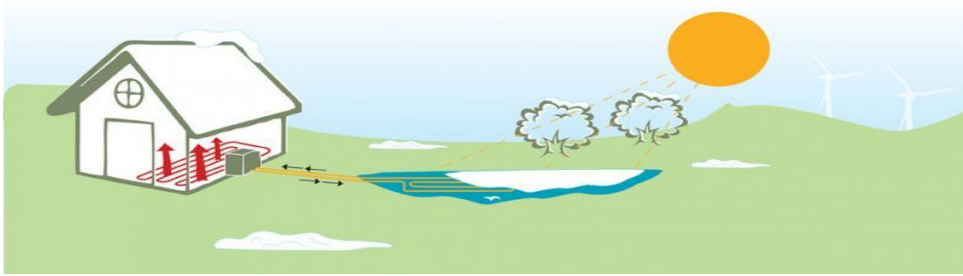
Denne varmepumpen utnytter lagret solenergi i bakken, ved at det på ca. 1 meters dybde graves ned en slange som er mellom 150 og 400 meter (NOVAP, u.å.). Vannet i slangen varmes så opp av solenergien og fordeles inn til boligen via et vannbårent distribusjonssystem (Varmepumpeinfo, 2012).



Figur 14 Jordvarmepumpe (NOVAP, u.å.)

Sjøvannsvarmepumpe

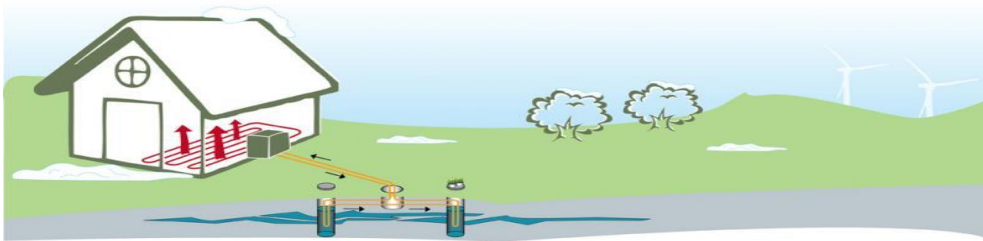
Varmekilden er sjøvann og det brukes et vannbårent distribusjonssystem (NOVAP, u.å.).



Figur 15 Sjøvannsvärmepumpe (NOVAP, u.å.)

Grunnvannsvärmepumpe

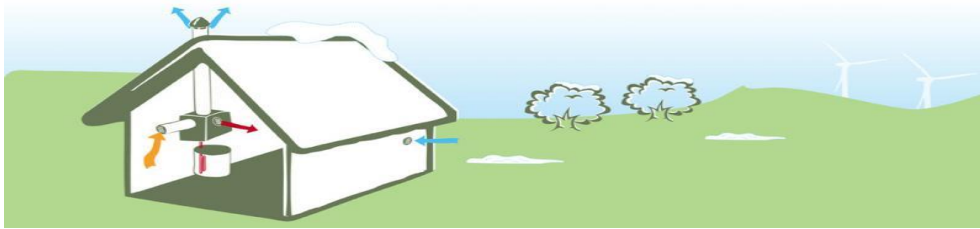
Her henter man ut varmen i en varmeveksler som det pumpes grunnvann opp til. Man må her ha tilstrekkelige mengder grunnvann tilgjengelig (NOVAP, u.å.).



Figur 16 Grunnvannsvärmepumpe (NOVAP, u.å.)

Avtrekksvärmepumpe

Varmekilden er ventilasjonsluft der varmen benyttes til forvarming av tilluft, romoppvarming



Figur 17 Avtrekksvarmepumpe (NOVAP, u.å.)

og oppvarming av tappevann (NOVAP, u.å.).

Varmekilder

Det som er avgjørende for varmepumpesystemets driftsresultat og utforming er valg av varmekilde. Som diskutert over, finnes det en rekke ulike kilder som kan benyttes av en varmepumpe (NOVAP, u.å.). For å sikre et godt økonomisk varmepumpesystem stilles det generelle krav til varmekilden. Den bør ha stor spesifikk varmekapasitet, gode varmeoverføringsegenskaper, innebære lave kostnader for tilknytning og gi lavest mulig temperaturløft over året. Varmekilden skal heller ikke være forurenset eller korrosiv, og bør ikke medføre høye energiutgifter til transport gjennom varmepumpe. Et siste krav er at det ved forbruksstedet skal være tilstrekkelig mengde tilgjengelig (Stene, 1997).

Grunnvarme som varmekilde har fått en økende betydning de siste årene, da særlig til bruk i større nybygg. De to vanligste varmekildene i Norge er bruk av uteluft og sjøvann (Stene, 1997). I forbindelse med denne oppgaven er det hovedsakelig et anlegg basert på uteluft eller grunnvarme (energibrønn) som skal vurderes. Oppgaven vil derfor videre ta nøyere for seg disse to varmekildene.

Uteluft

Luft er mye brukt som varmekilde for varmepumper ettersom den har stor tilgjengelighet. Ved bruk av uteluft vil et økende oppvarmingsbehov føre til en avtakende temperatur. Dette medfører at varmekapasiteten avtar ved et stort behov for oppvarming. Dette er en klar ulempe som gjør at uteluft egner seg best i områder med liten sesongvariasjon og årsmiddeltemperatur. Ved bruk av luft som varmekilde er det også nødvendig med en stor luftstrøm ved varmeopptak. Dette skyldes den lave varmekapasiteten som luft har. For å oppnå en slik luftstrøm installeres det vifter på fordampersens varmeveksler som igjen vil

kreve mer effekt fra strøm. Ved et kystklima som Haugesund kan korrosivt og forurenset luft være et problem, dette må derfor tas hensyn til ved valg av varmeveksler (Stene, 1997).

Man skiller mellom to systemer for varmeopptak fra uteluft, et direkte og et indirekte system. I et direkte system befinner fordampere seg utendørs. I dette systemet har man et lamell- eller ribberørsbatteri med et sirkulerende og fordampende arbeidsmedium som varmeveksles med uteluften. Det er dette systemet som hovedsakelig brukes i anlegg, ettersom det både er investeringsmessig og termodynamisk best sammenlignet med et indirekte system (Stene, 1997).

Energibrønn (grunnvarme)

For grunnvarme tar man i bruk borehull i berggrunnen hvor varmekilden er varme fra grunnfjellet (fjellmasser og vannårer) (NOVAP, u.å.). Fra omtrent 10 meter dybde er temperaturen i borehullene ganske stabil. Temperaturmessig er grunnvarme derfor en god varmekilde for varmepumper.

Mulig varmeopptak fra brønn vil variere mye, men ligger vanligvis mellom 20-80 W/m. Faktorer som påvirker brønnens energipotensiale er berggrunnens egenskaper, løsmassetykkelse, varmeledningsevne, bevegelig grunnvann, grunnvannets temperatur, termisk energi og dybden ned til grunnvannsspeilet, der det begynner å bli varmeopptak av betydning. Ved planlegging av større varmepumpesystemer er det viktig å kartlegge fare for setninger, type bergart, grunnvannsforekomster og grunnvannsforhold på stedet (Stene, 1997). En annen faktor er plassering i forhold til grunnvannets bevegelse dersom det befinner seg flere brønner i samme område. En typisk verdi for mulig effektuttak er 45 W per meter borehull med et årlig effektuttak på 100 til 250 kWh per meter hull (Lyse, 2000).

Indirekte varmeopptak er den vanligste metoden for varmeopptak fra energibrønn. Mellom fordampere til varmepumpen og borehullet sirkulerer det her et sekundærmedium (glykol- eller saltblanding) i en lukket krets. Ved hjelp av en sirkulasjonspumpe sirkulerer sekundærmediet ned i energibrønnen etter å ha blitt kjølt ned i fordampere. Arbeidsmediet blir varmet opp i energibrønnen og opptatt varmeenergi blir så avgitt i fordampere (Halvorsen, 2009).

Bruk av energibrønner gir gode virkningsgrader, stabil drift av varmpumpe, høy dekningsgrad, lang levetid (> 50 år), stabile arbeidsbetingelser og liten til ingen støy. Den krever også mindre vedlikehold enn et luftbasert anlegg og kan levere frikjøling sommerstid dvs. kan utformes for å levere nesten gratis klimakjøling. Frostvæsken sirkuleres da til en egen viftekonvektor. Et slikt anlegg gjør det også mulig å lagre eventuell overskuddsenergi fra sommer til vinter. Den eneste ulempen ved bruk av energibrønner er høy investeringskostnad (Halvorsen, 2009).

Dybde borehull

Det er hovedsakelig tykkelsen på løsmassene som avgjør lønnsomheten til dype energibrønner. En energibrønn på 500 meter vil økonomisk sett være det mest gunstige alternativet for løsmassesjikt over 15 meter. For løsmassesjikt mellom 0 og 15 meter vil det være større usikkerhet knyttet til valg av dybde på borehull. Effekt per meter boreddybde vil øke med dybden, men her vil eksakt temperaturnivå være vanskelig å fastslå. Dypere hull vil også kreve mer pumpeenergi som følge av økt trykkfall. For å kunne indikere en optimal løsning må det utføres detaljerte beregninger hvor både energi til pumper og økt gevinst for varmpumpe ved høyere temperatur fra borehull må tas hensyn til. Også vann vs. vann/glykol-løsning må vurderes.¹ Disse beregningene og den overordnede vurderingen vil bli synliggjort i kapittel 5.2.1 i denne oppgaven.

Lavtemperert takvarme

På grunn av mye isolasjon og gode vinduer har passivhus, som tidligere nevnt, et lavt varmebehov. Som følge av de gode vinduene er det ikke lenger nødvendig å plassere radiatorene under vindu. En bedre og mer estetisk løsning, som kan bidra til å frigjøre plass, vil derfor være plassering i taket/himling (Wigenstad et.al, 2012).

Det er hovedsakelig strålingsvarme lavtemperert takvarme baserer seg på. Man kan her oppnå en energigevinst som følge av den noe reduserte lufttemperaturen som oppstår når gulvet (og andre flater) indirekte varmes opp av strålingen. Sammenlignet med konvensjonell konvektiv oppvarming er denne løsningen også mer behagelig (Wigenstad et.al, 2012).

¹ Kari-Marie Høyvik Holmstøm, Siv.Ing Energi ved ETA Energi AS. E-post 09.04-2015.

Tilluftventiler i taket eller høyt på veggen kan kombineres med lavtemperert takvarme for å øke den konvektive varmeoverføringen fra taket. Dette foregår ved at luften stryker over takvarmeplatene og blir varmet opp slik at det oppstår en økt luftbevegelse. Sammenlignet med gulvvarme kan dette gi bedre varmeoverføring og redusert strålingstemperatur (Wigenstad et.al, 2012).

Byggeteknisk er takvarme et enkelt system som er mindre utsatt for skader. Som følge av den lettere konstruksjonen har takvarme en raskere responstid enn gulvvarme. Ved endringer av inne-/utetemperatur vil takvarme også bruke mindre energi. Takvarme er også mer energieffektivt ettersom himlingsflater har lavere termisk motstand som følge av deres tynne konstruksjon. Også byggeprosessen for takvarme er enklere og man er friere til å velge tidspunkt for installasjon (Wigenstad et.al, 2012).

Varme fra personer og åpen dør strategi

I lavenergi- og passivhus er internt varmetilskudd fra personer svært relevant. I et kontorbygg er nødvendig friskluftmengde 26 m³/time per person. Det trengs ca. 9 W for å varme opp denne luften med en grad. En person vil da kunne varme opp luften med ca. 11 °C gitt at han/hun gir fra seg 100 W varme. Vi kan dermed selv klare å varme opp det friskluftbehovet vi har helt ned til 9 °C under romtemperatur (se tabell 4 under) (gitt komfortnivå 20-22°C) (Nylund, 2014).

Eksempel for kontorlandskap	[W/m ²]
Varmetap ved -20 °C ute	16
Tilskudd fra personer (100 W/person)	6
Tilskudd fra PCer (100 W)	6
Belysning snitt	3
Parasittstrøm	0
Samlet interne tilskudd	15
Varmetap ved 0 °C ute	8

Tabell 4 Varmetilskudd fra personer (Nylund, 2014) (Larsen, 2014)

Åpen-dør-strategi baserer seg på at man i stedet for å plassere radiatorer på hvert cellekontor plasserer disse i sentrale rom. For at denne strategien skal være effektiv forutsettes det at dørene inn til kontorer holdes åpne når bygget ikke er i bruk. Åpen-dør-

strategi kan gi en varmetilførsel på 130 W gitt et vindusareal på $1,8 \text{ m}^2$, luftstrøm $0,11 \text{ m}^3/\text{s}$ og en temperaturforskjell mellom cellekontor og landskap på 1°C . Ved en slik innstrømming kan man holde temperaturen i cellekontoret uten bruk av lokal varmekilde (Nylund, 2014).

2.1.3 Solkraft

En viktig miljøvennlig energikilde er bruk og utnyttelse av solenergi. Denne energikilden finnes i store mengder og er tilgjengelig stort sett overalt. Utnyttelse av solvarme til å dekke deler av varmebehovet har en enkel konstruksjon og kan betraktes som en miljøvennlig løsning. I Norge har man et betydelig potensial for utnyttelse av solenergi, vi har nemlig tilstrekkelig solinnstråling til å kunne utvikle og ta i bruk denne teknikken. I Norge er det store variasjoner mellom vinter og sommer, men den årlige solinnstrålingen ligger vanligvis mellom 1100 kWh/m^2 lengst Sør og 700 kWh/m^2 i Nord. Utnyttelse av solvarme har fått en økt betydning ved planlegging av nye bygninger. Dette er et resultat av at energimerkeordningen ble innført i 2010 (Simonsen, Time & Andresen, 2011).

Solenergien kan unyttes på flere måter der de vanligste metodene er bruk av solceller og solvarmesystemer (solfanger). I solfangere utnyttes den termiske energien fra sola, mens man i solceller omformer solenergi til elektrisitet. Utnyttelse av solvarme til oppvarming er både økonomisk, miljøvennlig og enkelt. Det blir stadig mer attraktivt å ta i bruk slike systemer i nybygg (Andresen, 2008).

Solfangersystem

Solfangere kan benyttes til romoppvarming, til å varme opp prosessvann til industrielt bruk og til oppvarming av tappevann. Bygg med et kontinuerlig behov for varmt vann ved relativt lav temperatur egner seg godt til å ta i bruk solfangere. Eksempler på slike bygg er idrettshaller, sykehus og sykehjem. Solfangere kan også komplementere andre energikilder dersom man tar i bruk en felles varmelagringstank. For å sikre at solfangersystemet kan utnyttes hele året bør det dimensjoneres slik at det dekker mesteparten av tappevannsbehovet i bygget (Simonsen et.al, 2011).

Hovedkomponentene i et solfangeranlegg er vanligvis et automatisk styringssystem, solfanger, varmelager, rørkrets mellom varmelager og solfanger, og eventuelt en dreneringstank. Et solfangeranlegg er vanligvis et væskebasert system som omdanner strålingsenergi til varme. Denne varmen ledes så til et varmelager ved bruk av en

sirkulerende væske i rør. Varmt vann distribueres så ut i bygget fra varmelageret ved bruk av en pumpe. Pumpen reguleres av en styringsenhet som sørger for korrekt styring for å unngå koking av væske og frost. Dersom temperaturen i varmelageret er varmere enn temperaturen ut fra solfanger, sørger styringsenheten for at vannet slutter å sirkulere (Andresen, 2008). Det varme vannet fra varmelageret kan brukes til gulvvarme og radiatorer, eller som tappevann. Det er også vanlig å benytte tilsatsvarme som energikilde på dager hvor solen ikke gir tilstrekkelig energi (Simonsen et.al, 2011).

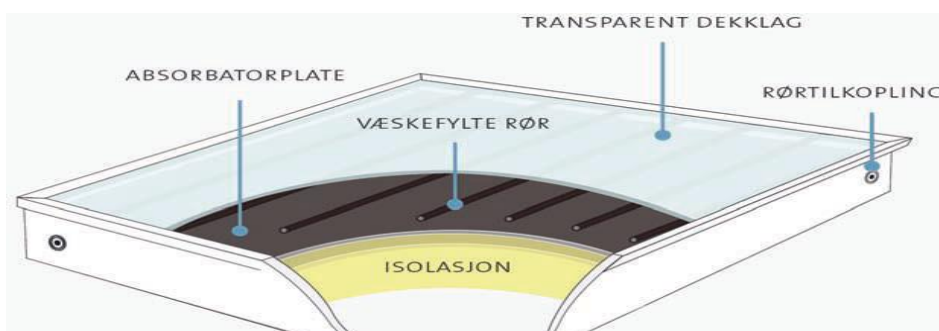
Solfangeren

Solfangeren omdanner solstrålingen til varme. Det skiller vanligvis mellom flere ulike typer solfangere som parabol, plane, traufornede og vakuumsolfangere. Det som tradisjonelt sett har vært mest brukt i bygninger er den plane solfangeren, men også vakuumsolfangere har fått en større del av markedet. Absorbator, isolasjon og dekklag er de tre hoveddelene som en typisk solfanger består av. Den sentrale komponenten i solfangeren, som omdanner solinnstrålingen til varme, er absorbatoren. Denne er vanligvis en tynn metallplate med en selektiv overflate eller en overflate som er farget sort. Bruk av en selektiv flate gir en mer effektiv solfanger ettersom den gir fra seg mindre infrarød stråling enn en sortmalt flate. Effektiviteten til solfangeren kan også økes ved å benytte et gjennomskinnelig dekklag som fungerer som en ``varmefelle``. Dette dekklaget hindrer den langbølgede varmestrålingen fra å slippe ut samtidig som den slipper inn den kortbølgede solstrålingen. Den beskytter også absorbatoren fra å bli nedkjølt (Andresen, 2008).

For å sikre en god virkningsgrad anbefales det å ta i bruk en absorbator med lav emisjon og høy absorpsjon. Man bør også sikre en lav inngangstemperatur til solfangeren, samt ta i bruk et dekklag med høy soltransmittans. En god isoleringsevne er også ettertraktet (Andresen, 2008).

Plan solfanger

I en plan solfanger består absorbatoren av en kopper-, plast- eller aluminiumsplate med innstøpte rør og ribber. For å minimere varmetapet til omgivelsene er solfangeren isolert på



Figur 18 Prinsipiell oppbygging av en plan solfangermodul (Andresen, 2008)

undersiden og langs kantene. I en ekstrudert aluminiums ramme forseglet med gummi finner man dekklaget. Dette dekklaget består av et lag med herdet plast. Visse typer plane solfangere kan erstatte en vanntett taktekking (Andresen, 2008).

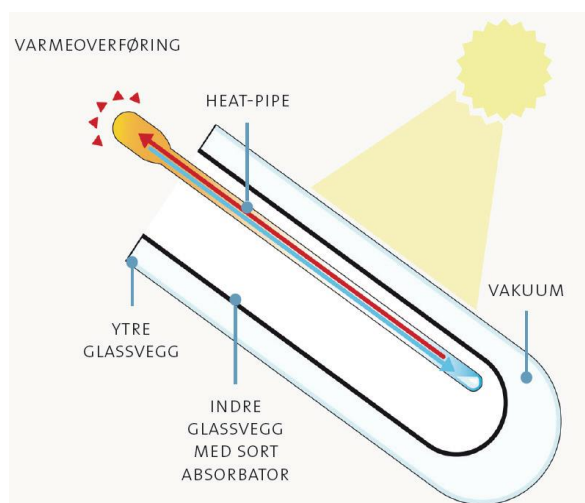
Vakuumsolfanger

For å minimere varmetapet fra solfangeren plasseres absorbatoren i et glassrør med vakuums. Dette skyldes at vakuums har en bedre varmeisoleringssevne enn luft (Andresen, 2008).

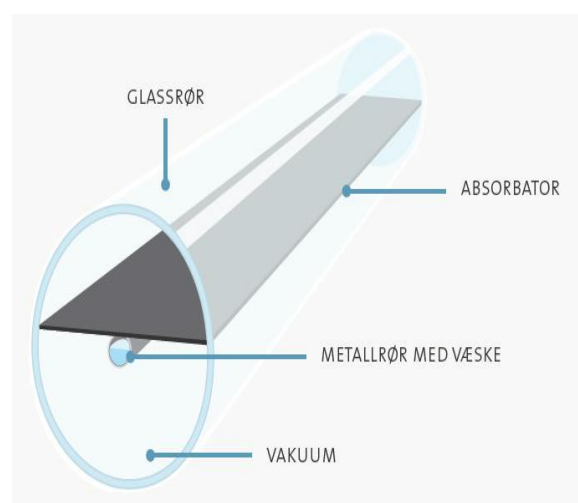
Man skiller vanligvis mellom to typer vakuumsolfangere basert på to ulike prinsipper, nemlig "Heat-pipe" og direkte gjennomstrømning. I en Heat-pipe solfanger sørger vakuums for at væsken fordampes ved lave temperaturer. En slik solfanger har nemlig bare en liten mengde væske, hvor målet er å oppnå damp som skal stige opp og treffe en varmeveksler. Dampen vil så kondensere og på denne måten sørge for at varme overføres fra solfanger til solkrets. Disse solfangerne må ha en viss helning (min 2°) for å fungere (Andresen, 2008).

Ved direkte gjennomstrømning overføres varmen på tilsvarende måte som i en plan solfanger ved at varmemediet strømmer gjennom metallrør inne i vakuumsrøret (Andresen, 2008).

Sammenlignet med plane solfangere er vakuumsolfangere kostbare, men har høyere virkningsgrad ved liten innstråling og lave temperaturer.



Figur 20 Prinsippskisse av en vakuumsolfanger med "heat-pipe"-prinsippet (Andresen, 2008)



Figur 19 Snitt gjennom en vakuumsolfanger med "direkte gjennomstrømning" (Andresen, 2008)

Utforming av solvarmeanlegg

Faktorer som vil ha stor betydning for muligheten til å kunne utnytte solvarme er bygningens forhold til terreng og vegetasjon, samt hvordan byggene plasseres i forhold til hverandre.

Man bør også kartlegge sol- og skyggeforhold i området. Integrasjon av solvarmeanlegg bør inkluderes i selve utformingen av bygget der tilgjengelighet for vedlikehold og installasjon er tatt hensyn til. Ved dimensjonering må varmebehovet kartlegges. En god tommelfingerregel er å ha et system som kan produsere 300-700 kWh/m² solfangerareal i året.

Dimensjoneringen vil også være avhengig av rørlengde, isolasjon, solfangerareal, retningsorientering, helningsvinkel, solfangertype og lagertankens størrelse/utforming (Andresen, 2008).

Valg av solfanger avhenger av klimatiske forhold (utetemperatur, solinnstråling), varmebehov, bygningsarkitektur og muligheter for plassering. Når det gjelder helningsvinkel er denne optimal ved 40-50° dersom solfangeren er orientert mot sør. Sammenlignet med en sørvendt solfanger gir en solfanger orientert mot vest eller øst et 25 % lavere energiutbytte (Andresen, 2008).

Ved valg av anlegg er det viktig å være bevisst på at det ikke er økonomisk optimalt å dekke hele oppvarmingsbehovet ved hjelp av solenergi.

Drift og vedlikehold

Behovet for vedlikehold av solfangeranlegg vil avhenge av kvalitet og type, men i utgangspunktet krever de liten oppfølging og service. Det kan være tilstrekkelig med årlig tilsyn dersom anlegget er riktig montert (Simonsen et.al, 2011).

I kalde klima som Norge er det også viktig at solfangerne monteres slik at snø kan gli uhindret av. Dette kan løses ved å sette av tilstrekkelig plass på taket nedenfor solfangeren eller ved å unngå snøfangere slik at snøen sklir direkte av taket (Simonsen et.al, 2011).

For å sikre at ulike fagfolk ikke vanskeliggjør eller motarbeider hverandres fagfelt er det viktig med en helhetlig forståelse innenfor bygg bransjen. Dette innebærer informasjon om produktet (solfanger) og sammenkobling med andre elementer i varmeanlegget. For å kunne

drifte, montere og levere gode solfangeranlegg kreves det altså en god kommunikasjon om hvilke krav og behov som må oppfylles (Simonsen et.al, 2011).

Solskjerming

Moderne kontorbygg har ofte store vindusarealer som dekker store deler av bygget. Dette gjør dem spesielt utsatt for solinnstråling, noe som igjen medfører et stort kjølebehov i varme perioder. Solinnstrålingen kan derimot også bidra til å redusere oppvarmingsbehovet i kalde perioder. Bruk av solskjerming kan være et viktig tiltak for å optimalisere og kontrollere solstrålingen som trenger inn i kontorene (Grynning, Time & Matusiak, 2014).

Tidligere studier har vist at energibehovet i et kontorbygg kan relateres til varmetap gjennom vinduer og kjølebehov induisert av solinnstrålingen. Selv i klimaer med et stort oppvarmingsbehov er det kjølebehovet som dominerer energibruken i kontorbygg. For å redusere dette er det vanlig å ta i bruk solskjerming (Grynning et.al, 2011).

For å realisere potensiale for energisparing og dagslysfordelene til skjermingssystemet er det essensielt å ta i bruk et automatisk kontrollsystem. Dette systemet må inkludere energibehovet til både kjøling og belysning. Også energi til varme bør inkluderes og kontrollstrategien må designes i henhold til aktuelt klima (Grynning et.al, 2014). I Van Moeseke et.al (2007) ble det konkludert at man burde bruke en kombinasjon av temperatur settpunkter og nivåer for solinnstråling som strategi for å redusere oppvarmingsbehovet om vinteren. Dette vil nemlig sikre bedre utnyttelse av solenergi.

For å sikre at et system for solskjerming fungerer bra må man, i tillegg til energibruk for varme, kjøling og lys, opprettholde tilfredsstillende visuell komfort (Grynning et.al, 2014).

I Grynning et.al (2014) fant de at bruk av solskjerming på kontorer rettet mot nord hadde et ubetydelig potensiale for reduksjon av energibehov. Et slikt system bør derfor ikke brukes på nordlige fasader. På sørlige fasader er resultatene motsatt. Her kan energibehovet reduseres med hele 9 % dersom en god strategi for solskjerming benyttes. Det ble altså konkludert at installasjon av et automatisk kontrollert solskjermingssystem kan redusere energibehovet til sør-vendte kontorer. Før installasjon er det derimot viktig å undersøke om dette er tilfelle for det spesifikke bygget installasjonen skal utføres for (Grynning et.al, 2014).

Solceller

I praksis har det vist seg at solceller er den beste teknologien for lokal produksjon av elektrisitet (Fornybar, u.å.).

En solcelle kan produsere elektrisk strøm direkte når sollys treffer det. Den omdanner nemlig solenergi til likestrøm. Solcellen er laget av to lag med silisium, som har fått ulike egenskaper gjennom tilsetningsstoff. Sollyset gir en del av elektronene nok energi til at de kan bevege seg gjennom materialet. Skal det genereres elektrisitet i en solcelle må nemlig valenselektron, de ytterste elektronene i et atom, bli slått løs. Elektronet må altså overføres fra valensbåndet til ledningsbåndet, der hvert bånd dreier seg om ulik energi. Dette kan skje ved at ett foton kolliderer med et elektron. Dersom fotonet har nok energi, kort nok bølgelengde, blir elektronet slått løst og man får en effekt i solcellen (Boyle, 2012).

Virkningsgrad for solceller defineres som forholdet mellom solinnstråling og produsert strøm. Solceller har vanligvis en virkningsgrad på 20 %, men man har oppnådd virkningsgrader på opptil 25 % for enkeltceller under gode laboratorieforhold (Boyle, 2012).

En enkel konvensjonell solcelle produserer bare ca. 1.5 watt strøm. For å oppnå større kraft er det derfor vanlig å koble sammen flere celler i grupper, såkalte solcellemoduler. For å oppnå ytterligere kraft kan disse solcellemodulene kobles i serie, en såkalt streng (Boyle, 2012). Den elektrisiteten som en solcelle produserer må omformes til vekselstrøm i en vekselretter/inverter før den kan sendes ut på nettet. Ved å koble solcellemoduler i en streng vil vekselretteren få en høyere inngangsspenning, som igjen bidrar til god drift og forminsket tap i systemet. Strømproduksjonen i solcellene påvirkes av temperaturen til modulene hvor synkende celledtemperatur gir økt virkningsgrad. Det er derfor viktig med god nedkjøling og luftsirkulasjon av modulene (Multiconsult, 2013).

Produksjonen av solcelleanlegg og anlegget ytelse gjennom et produksjonsår er avhengig av en rekke faktorer som temperatur, vind, snø, lokal solinnstråling, samt orientering og vinkel i forhold til sola. Orientering av anlegget mot sør fungerer best, mens vinkelen avhenger av hvor langt nord man befinner seg. I Norge er gjennomsnittet av optimal modulvinkel på ca. 40 grader for årsproduksjon. Det kan derimot benyttes en mindre vinkel uten nevneverdige produksjonstap ettersom produksjonen er relativt lav på vinteren (Multiconsult, 2013).

Solcelleteknologier

Krystallinske solceller og tynnfilmteknologier er de viktigste solcelleteknologiene. Det er som avgjørende for valg av teknologi er forholdet mellom virkningsgrad, pris, tilgjengelig areal og bruksområde (Fornybar, u.å.).

Krystallinske solceller

Det finnes to hovedtyper for krystallinske solceller, nemlig multi- og monokrystallinske.

Begge disse typene er laget av silisiumskiver, men med ulik krystallstruktur. I den multikrystallinske solcellen består silisiumskiven av mange små krystaller, mens den i den monokrystallinske består av en eneste krystall med homogent krystallgitter (Fornybar, u.å.).

Produksjon av monokrystallinske celler er en komplisert prosess som krever mer energi til produksjon og dermed også høye kostnader. De omvandler derimot mer av sollyset til elektrisitet sammenlignet med de multikrystallinske og innebærer derfor også et lavere tap. Virkningsgraden for disse ligger vanligvis på 15-20 %.

De multikrystallinske solcellene er rimeligere i produksjon, men har en lavere virkningsgrad på ca. 14-16 % (Fornybar, u.å.).

Tynnfilmteknologier

Den første tynnfilmteknologien som ble kommersialisert var amorfe silisiumceller (a-Si), men det finnes også en rekke andre tynnfilmteknologier. Sammenlignet med krystallinske solceller behøver amorfe silisiumceller kun 1-5 % av benyttet råstoff, men har en lavere virkningsgrad (ca. 7-9 %). Kadmium tellurid celler (CdTe) og kobber-indium-gallium-diselenidceller (CIGS) er eksempler på andre kommersielle tynnfilmteknologier, med representative cellevirkningsgrader på henholdsvis 9,3 og 11 %. Det er først i de siste årene at man har oppnådd en 10 % virkningsgrad i kommersielle produksjonsvolumer ved bruk av tynnfilmteknologier (Fornybar, u.å.).

Substrat av stål, glass eller plast brukes til å lage tynnfilmceller. Ved bruk av plast kan man gjøre modulene mer bøyelige slik at de kan legges over bueformede tak. En fordel ved å ta i bruk tynnfilmceller er at de åpner for mer rasjonelle produksjonsprosesser, de gjør det nemlig mulig å lage store flater i en operasjon. Ettersom de krystallinske solcellene er mer avhengig av direkte innstråling kan tynnfilm-systemene produsere mer elektrisitet enn disse under mindre ideelle forhold som diffus innstråling. Dette på tross av den lave

virkningsgraden. Tynnfilmteknologien har derimot mistet sin fordel tilknyttet kostander ettersom prisen på krystallinske solcellemoduler har sunket med ca. 80 % siden 2008. Fremtidens muligheter for tynnfilmteknologien vil derfor avhenge av muligheten til å utnytte fleksibiliteten i størrelse og form (Fornybar, u.å.).

Systemer for konsentrert sollys

For å konvertere en gitt mengde solenergi kreves det en bestemt mengde solcellemateriale. Ved å ta i bruk systemer for konsentrert sollys kan man redusere denne mengden solcellemateriale og samtidig øke virkningsgraden som følge av økt belysning. Dette krever et mer kompleks system med mekanikk for å følge solen og en konsentrator, som igjen vil medføre økte kostnader. Slike systemer gir derimot svært høye virkningsgrader på opp mot 26 % for kommersielle systemer (Fornybar, u.å.).

Høyeffektive celler

Disse systemene utnytter sollyset mer effektivt og oppnår en høyere celledensitet enn enkeltceller. Denne celletypen består nemlig av flere lag hvor de lengre bølgelengdene blir absorbert i det underste laget, mens det øverste laget kun absorberer kortbølget lys. Ulempen med denne celletypen er at den er komplisert å lage. Laboratorieforsøk av en solcelleplattform sammensatt av slike høyeffektive celler har oppnådd en virkningsgrad på 42,8 %. Her kreves det derimot ytterligere forskning før dette kan tas i bruk kommersielt (Fornybar, u.å.).

Solcelleanlegg

Størrelsen på et solcelleanlegg angis i installert ytelse W_p (Watt peak) og denne måles ved testbetingelser. Ettersom mengden solinnstråling vil variere fra sted til sted vil også den faktiske energiproduksjonen være ulik. I gjennomsnitt produserer et 1 kW_p solcelleanlegg ca. 900-1000 kWh/år i Sør-Norge og 800-900 kWh/år i Midt-Norge. For tynnfilm er det vanlig med paneler i området 50-100 W_p og 50-300 W_p for krystallinske solceller (Fornybar, u.å.).

Ved å ta i bruk Photovoltaic Estimation kalkulatoren til Onyx Solar kan man beregne generert elektrisitet i Haugesund ved bruk av solceller med en valgt installert effekt og vinkel. Ved optimal tilt 40° og orientering rett sør trengs ca. 135 kW_p installert effekt (735 m^2 panel á 185 W/m^2 , 675 m^2 panel á 200 W/m^2 eller lignende) for å kunne dekke et årlig konsum på 140 000 kWh (se figur 21).

PHOTOVOLTAIC ESTIMATION

powered by Onyx Solar

1. SELECT THE LOCATION OF YOUR INSTALLATION

haugesund, norway

2. SELECT THE POWER OF YOUR INSTALLATION

Peak Power (kWp)

135

3. SELECT THE TILT AND THE ORIENTATION

Tilt: **40** Orientation: **0**

North: 180°
South: 0°
East = 270° (-90°)
West = 90°

RESULTS

ELECTRICITY GENERATED PER YEAR

140,170 kWh

TOTAL HOURS OF LIGHT GENERATED PER YEAR

7,008,500 hours *

AVOIDED CO₂ EMISSIONS PER YEAR

93,914 Kg CO₂

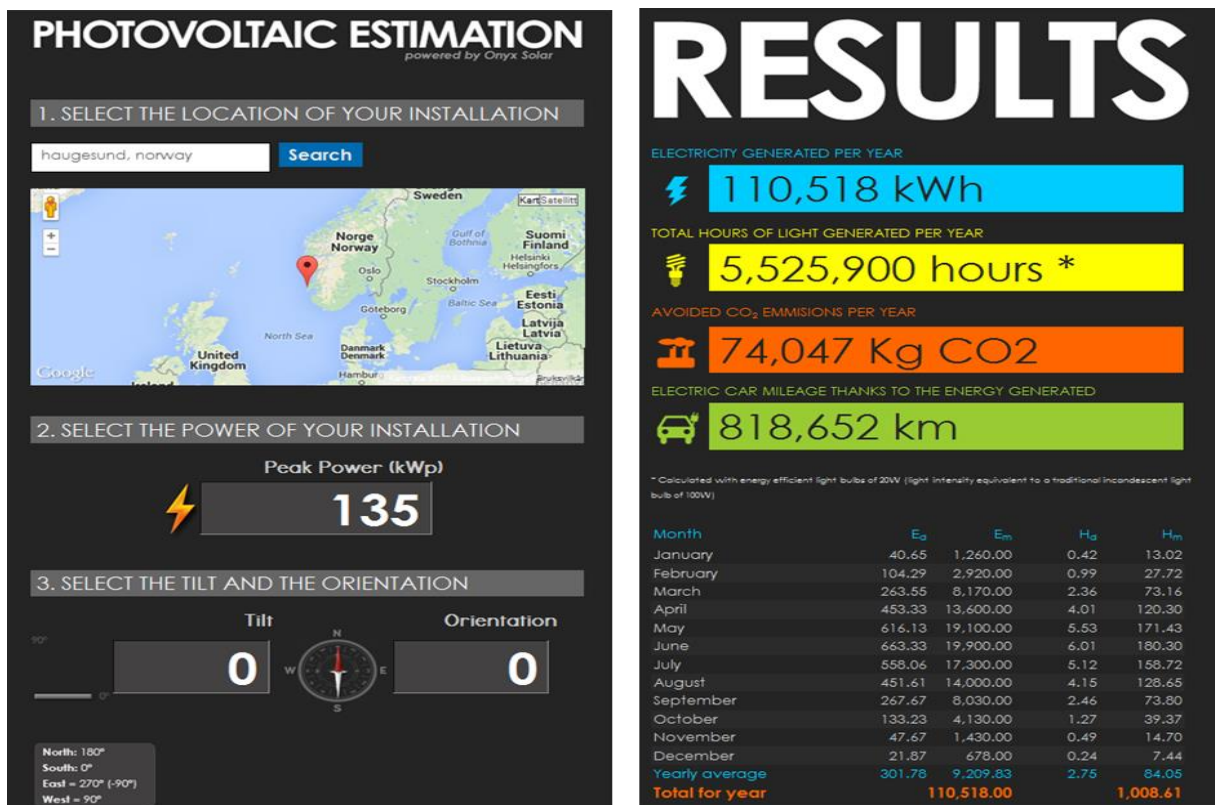
ELECTRIC CAR MILEAGE THANKS TO THE ENERGY GENERATED

1,038,296 km

* Calculated with energy efficient light bulbs of 20W (light intensity equivalent to a traditional incandescent light bulb of 100W)

Month	E _a	E _m	H _a	H _m
January	134.84	4,180.00	1.13	35.03
February	229.29	6,420.00	1.94	54.32
March	419.35	13,000.00	3.63	112.63
April	573.33	17,200.00	5.09	152.70
May	661.29	20,500.00	6.00	186.00
June	663.33	19,900.00	6.10	183.00
July	567.74	17,600.00	5.28	163.68
August	525.81	16,300.00	4.84	150.04
September	370.00	11,100.00	3.33	99.90
October	245.81	7,620.00	2.15	66.65
November	131.67	3,950.00	1.13	33.90
December	77.42	2,400.00	0.65	20.15
Yearly average	383.32	11,680.83	3.44	104.83
Total for year		140,170.00		1,257.90

Figur 21 Photovoltaic Estimation Haugesund (Onyx Solar, u.å.)



Figur 22 Photovoltaic Estimation Haugesund (Onyx Solar, u.å.)

Ved å legge samme mengde solcellepanel flate produseres ca. 25% mindre strøm:

Bruksområde for solcelle

Bruk av solceller i små systemer er utbredt, men representerer bare en liten andel av solcelle markedet. I slike systemer er solcellen vanligvis innebygd i et produkt som for eksempel en gatelykt. Disse systemene kan kun brukes til det formålet de er designet for, da de som regel ikke har noe strømuttak (Fornybar, u.å.).

For generell strømforsyning brukes større anlegg der man vanligvis skiller mellom fire systemtyper. Disse er distribuerte nettilknyttede systemer, frittstående systemer, sentraliserte nettilknyttede systemer og bygningsintegrerte solcellesystemer. For kontorbygg er det mest aktuelt å ta i bruk distribuerte nettilknyttede systemer eller bygningsintegrerte solcellesystemer. De bygningsintegrerte systemene består av paneler som er utformet slik at de kan passes direkte inn i fasade eller takbelegg (Fornybar, u.å.). Dette kan bidra til å redusere totalkostnadene. For moderne kontorbygninger kan nemlig kostandene for konvensjonell kledningsmateriale overgå kostnaden for kledning med solceller (Boyle, 2012).

Kontorbygninger er hovedsakelig i bruk på dagtid, noe som korrelerer bra med tilgangen til solinnstråling. Dermed kan bruk av elektrisitet fra solceller sterkt redusere byggets behov for å kjøpe elektrisitet fra strømmettet. Eventuell overskuddskraft fra solcellene kan også selges videre til det lokale strømmettet, det er dermed en klar fordel for et kontorbygg å benytte så mye solcellekraft som mulig (Boyle, 2012).

Fordeler og ulemper med solceller

Det at teknologien for solceller lett kan tilpasse seg et gitt behov i både små og store anlegg er en klar fordel (Fornybar, u.å.). Andre viktige fordeler er god driftssikkerhet, solcellemoduler har nemlig ingen bevegelige deler og er derfor sikre ut i fra et mekanisk synspunkt. De gir heller ikke fra seg støy og har lang levetid (vanligvis 25 år) (Boyle, 2012).

Ulemper tilknyttet solceller er at de, sammen med annet elektrisk utstyr, kan utgjøre en risiko for elektrisk støt. Denne faren er derimot ikke større enn for andre lignende elektrisk installasjoner. Estetisk sett kan solcellemoduler ha en negativ visuell effekt ettersom de er synlige for naboer når de tas i bruk på tak. Enkelte produsenter har derfor begynt å lage solceller med utforming som taksteiner slik at de kan passe bedre inn med resten av takstrukturen. En annen ulempe med bruk av solcellemoduler er at de ved slutten av sin levetid må fjernes og eventuelt resirkuleres (Boyle, 2012).

Markedet i Norge

Det norske markedet for solceller er rent kommersielt, det gis nemlig ikke subsidier her. Motivasjonen for solceller i det norske markedet skiller seg derfor fra de andre europeiske landene. Solkraft i andre land er enten støttet av staten eller kommersielt konkurransedyktig. Hovedmotivasjonen for de som kjøper solcelleanlegg i Norge er vanligvis høye miljøambisjoner eller krav til energieffektivitet for sine bygg (Fornybar, u.å.).

I Norge ligger prisnivået for solcellesystemer vesentlig høyere enn i andre land. Dette skyldes at man har et mindre omsetningsvolum og lavere grad av modenhet i det norske markedet. Som følge av andre lands satsinger har det derimot oppstått et prisfall, og dersom prisene fortsetter å synke vil solcellesystemer også bli lønnsomme her til lands (Fornybar, u.å.).

Det norske markedet for solceller er altså ganske lite, men dersom man ønsker å realisere en energiomlegging til nullenergi- og plusshus må solkraft få en større betydning i Norge (Fornybar, u.å.).

Kostnader og levetid tilknyttet Solceller

Siden de første anleggene ble installert har produksjonskostnadene for elektrisitet fra solceller blitt betraktelig redusert. Dette skyldes hovedsakelig mer effektivitet i marked og prosesser, samt teknologiutvikling (Fornybar, u.å.).

Kostnaden per kilowatt time for solceller er sammensatt av både kapital kostnader og brukskostnader. Kapital kostnader for solcellesystemer består av kostnaden for selve modulen, kostnader knyttet til sammenkoblingen av moduler til strenger, støttestrukturer, kabler, lade regulatorer, brytere og inverter. Her inkluderes også kostnader for lagringsbatterier og tilknytning til nettet (Boyle, 2012). Brukskostnader er kostnader til drift, vedlikehold og inverterbytte (Multiconsult, 2013).

For globale produsenter ligger modulprisen litt under 4 NOK/W_p, men dette vil hovedsakelig være avhengig av produksjonsvolum. I Norge ligger derimot modulprisene på over 7 NOK/W_p. Dette skyldes alle de ekstra kostnadene som er nødvendige for å få et anlegg til Norge, som transport, import, frakt og påslag fra produsent via grossist til systemleverandør. I dag er det vanlig at man gjennom tyske grossister og systemleverandører kjøper komponenter og systemløsninger ``stykkvis``. Modulkostnaden utgjør vanligvis 35-41 % av den totale systemprisen. For å kunne oppnå reduserte modulpriser i Norge må man redusere salgskjedene gjennom økt markedsvolum. Som følge av neglisjerbart volum er prosjektkostnadene i Norge svært høye. Det er også store kostnader knyttet til opplæring av installatører for elektrisk og mekanisk installasjon, denne utgjør 32-36 % av totalkostnaden for anlegget. Selv ved moderat utrulling i Norge bør man derfor kunne forvente en reduksjon i systemkostnader (Multiconsult, 2013).

Kostnader tilknyttet vedlikehold vil variere fra anlegg til anlegg, men er i utgangspunktet svært lave. Behovet for vedlikehold, kontroll og ettersyn er nemlig minimal ettersom driften er automatisert. Kostnader kan derimot påløpe i anleggets levetid som følge av uforutsette hendelser og komponentsvikt. Årlige driftskostnader beregnes derfor som en prosentsats av de totale investeringskostnadene. I solkraftprosjekter er det også vanlig å kalkulere med inverterbytte selv om denne vanligvis fungerer like lenge som solcellemodulene. Invertere er ikke utsatt for degradering, men det kan oppstå feil i starten eller slutten av levetiden (Multiconsult, 2013).

Driftskostnadene for solcellesystemer er ekstremt lave sammenlignet med andre energisystemer. Det kreves nemlig ikke noe drivstoff/brensel og anlegget har, som tidligere nevnt, heller ingen bevegelige deler. Dette vil igjen medføre lave vedlikeholdskostnader sammenlignet med for eksempel en vindturbin (Boyle, 2012).

Solcelleanlegg som helhet antas å ha en levetid på 25 år (Multiconsult, 2013).

2.2 Byggetekniske tiltak

2.2.1 Miljøvennlige energiløsninger gjennom god design

Stadig flere byggherrer krever energieffektive bygg og produkter. Den beste måten å gjennomføre miljøvennlige tiltak på er å utnytte den energien som er lett tilgjengelig, som solenergi og jordvarme. En kan utnytte denne energien på en aktiv måte ved bruk av solfanger eller borehull, men den kan også utnyttes passivt gjennom god design.

Halvklimatisert glassgård som forvarmer luften som eventuelt kommer inn i bygget, karuselldør i inngangsparti og orientering av vinduer i forhold til solinnstråling er alle eksempler på dette.

2.2.2 Metoder for passiv utnyttelse av solvarme

Alle bygg med vinduer kan til en viss grad betraktes som solfangere. Kunsten å benytte den termiske energien fra sola kan dateres tilbake til romerne, som gjorde god nytte av glass i sine kommunale bygg og badehus. To meter brede og tre meter høye vindusåpninger er blitt funnet i Pompeii. Etter Romerrikets fall var evnen til å lage store flater med glass tapt i over tusen år. Det var ikke før på 1700-tallet at glass på 2 m² eller mer, igjen ble produsert i Frankrike (Boyle, G. 2012).

Bygg i storbyer på 1800 og 1900 tallet var overbefolket og dårlig innrettet for sollys. Det var ikke før på 1900 tallet at byplanleggere satte seg inn i design for å oppnå en bedre tilstand for beboere. Etter at det ble påvist at ultrafiolett lys dreper bakterier begynte byplanleggerne å ta i bruk dette. De var derimot ikke klar over at ultrafiolett lys ikke penetrerer vinduer, men det gikk ikke lang tid før forskere påpekte dette. Dagslys er spesielt viktig for nordiske land på grunn av redusert energibruk, men også fordi naturlig lys er viktig for å opprettholde en naturlig hormonbalanse hos oss mennesker. Uten sollys ville folk med stor sannsynlighet ha utviklet midt-vinter depresjoner (Boyle, G. 2012).

Det finnes hovedsakelig 3 forskjellige metoder for passiv utnyttelse av tilgjengelig solvarme. Den ene er vinterhage eller drivhus på sørsiden av bygget, som kan bli sett på som en beboelig solfanger. Luft er transportmiddelet for varme, som transporteres inn i bygget. Den termiske energien lagres på innsiden. Den andre metoden er trobevegg, navngitt etter den franske oppfinneren Félix Trobe. Her er drivhuset erstattet med en tynn glassvegg. Luften på utsiden av husveggen har fri gjennomstrømning inn til bygget både oppe og nede. Varm luft

stiger, og det vil derfor skapes en naturlig utskifting av luften inne i bygget. Etterhvert som den varme luften stiger og beveger seg inn i bygget vil en utskiftning av luften i trobeveggen skje ved at den kalde luften i bygget blir trekket ut langs gulvet. Den tredje metoden for utnyttning av tilgjengelig solvarme er den enkleste og mest brukte, nemlig direkte gevinst av solvarme ved å benytte tradisjonelle vinduer (Boyle, G. 2012).

Passiv utnyttelse av solvarme krever en forståelse for energistrømmer i en bygning. Det må være tilstrekkelig med solvarme for å kunne dekke en betydelig mengde av vinterens oppvarmingsbehov. Sørvendte vindusfasader er en form for passiv soloppvarming, men dersom den innvendige temperaturen er høyere enn den utvendige vil noe av varmen bli transportert ut igjen (tapes). Hovedspørsmålet er om strøm inn er større enn strøm ut, slik at en på denne måten oppnår et netto overskudd. Dette vil være avhengig av faktorer som gjennomsnittlig omgivelsestemperatur, bygningens gjennomsnittlige temperatur, tilgjengelig solstråling, vinduenes transmisjonskarakteristikk, orientering og skygge, samt U-verdi, som hovedsakelig er avhengig av om vinduene har enkle, doble eller triple glass (Boyle, G. 2012). For ytterligere informasjon om vinduer se kapittel 2.2.4.

2.2.3 Isolasjonsmaterialer som bidrar til redusert energibruk

Når en starter med et byggeprosjekt er det viktig å kunne skjelne mellom de isolasjonstyper som finnes på markedet, og videre hvilket materiale som vil være aktuelt å bruke i forhold til de krav som stilles. Faktorer som spiller en rolle ved valg av materiale er:

- Varmekonduktivitet, som er en verdi som betegner materialets evne til å lede varme. Jo lavere verdi, desto bedre isolasjon.
- U-verdi (W/m^2K), også kaldt varmegjennomgangskoeffisienten. Denne verdien er et mål på hvor lett en bygningskomponent slipper gjennom varme. Verdien angir hvor mye varme (målt i watt) som kan strømme gjennom et areal på 1 m^2 ved konstant temperaturforskjell på 1K ($1K = 1^\circ\text{C}$) mellom kald og varm side av bygningskomponenten.
- Varmemotstand ($m^2 W/K$) gir oss en ide om hvor effektivt et materiale isolerer. Omtales ofte som isolasjonens R-verdi.
- Bestandighet. Påvirkes materialet av sur nedbør (om isolasjonen ikke beskyttes), kjemikalier, organiske løsemidler, sopp og mikroorganismer, eller skadedyr?

- Miljøvennlighet. Levetid og om materialet kan gjenbrukes og/eller gjenvinnes er viktig for miljøet. Om isolasjonsmaterialet har like lang levetid som selve bygget, vil dette være en kostnadseffektivt og spare miljøet.
- Pris. Vakuumisolasjon (omtalt under) er for eksempel betraktelig mer kostbart enn mineralull.

Tradisjonell termisk isolasjon



Figur 23 Glassull (Allbiz, u.å).

Mineralull, Glassull, Steinull 30-40 mW/(mK)

Mineralull er laget av steinull eller glass gjennom smelting og omforming til fibrer. Disse fibre blir så tilført et bindingsmiddel og presset sammen til matter eller plater tilpasset bruksområdet. Denne formen for isolasjon er det mest brukte varmeisolasjonsmateriale. Mineralull brukes til å fylle hulrom, enten ved manuell installering av matter, eller ved innblåsing i granulatform. Den termiske konduktiviteten for mineralull er 30 – 40 mW/(mK). Mineralull er billig i forhold til mange andre isolasjonsmaterialer. Materialet har i tillegg en lydisolerende effekt (Thue, 2009).

Bindingsmiddelet for å holde fibre sammen er kunstharpiks, hvor en i Norge kun benytter fenolharpiks. Fenolharpiks har sterke kjemiske bindinger som videre gjør at det avgis meget lite formaldehyd ved fuktbelastning. Det kan også benyttes ureaformaldehydlim (karbamidharpiks), som består av relativt svake kjemiske bindinger. Fenolharpiks er mye dyrere en karbamidharpiks. Ved brann er fenolharpiks verst ettersom det da avspaltes

fenolgass, som er en nervegift. Fenoldamp gir umiddelbar skade, mens formaldehyd kun er skadelig ved langtidspåvirkning (Holmstad, 2007).

Glassull har liten varmekapasitet, og bygningen vil derfor raskt bli overopphetet på sommerstid. Glassull er også, på grunn av sin lave egenvekt, relativt dårlig til lydisolering, men er derimot lett å håndtere.

Bygninger med mineralull må være lufttette for å hindre kondensasjonsvann ettersom materialet ikke har noen fukt bærende egenskaper. Holmstad (2007) nevner eksempler på at plastsperran er blitt penetrert av flere lange spikre, som videre fører til at plastsperran blir mer som en sil. Med de nye energikravene på 20-30 cm isolasjon i vegger kan dette bli et stort problem ettersom større mengder med kondensert vann aldri slipper ut i fra veggen.

Det største problemet med mineralull er at det brukes store mengder med energi til produksjon. Glassull kan gjenbrukes hvis den ikke er skadd, men kan ikke gjenvinnes. Når materialet ikke lenger er brukende må det deponeres, i motsetning til for eksempel trefiberisolasjon (Holmstad, 2007).

Polystyren/Styrenplast (isopor) 30-40 mW/(mK)



Figur 24 Polystyren. Kjent ved navnet Styrofoam (Antenocitis workshop news & blog, 2010).

Styrofoam er mye brukt i bygge bransjen ettersom det har en god isolerende effekt.

Styrofoam reduserer risikoen for frostskafer, reparasjon og vedlikeholdskostnader.

Materialet kommer ofte i plater for enkel installering på byggeplassen. Det finnes forskjellige kvaliteter og dimensjoner for riktig kuldemengde og bruksområde. Glava hevder at det ofte kan være enklere og billigere å frostsikre med styrofoam i stedet for utgraving og fylling med grus (Glava, 2000). Styrofoam blir også brukt til å isolere jernbaner, flyplasser, veier, tunneler, ledninger og idrettsbaner.

Hva er negativt med styrofoam?

Det største miljøproblemet med isopor er faren forbundet med stoffet styren, som er den grunnleggende byggesteinen i polystyren. Negative helseeffekter er generell irritasjon av hud, øyne og øvre luftveier. Kronisk eksponering påvirker sentralnervesystemet og kan føre til depresjon, tretthet, hodepine og svakhet. Styren er klassifisert som et mulig kreftfremkallende stoff av International Agency for Research on Cancer (IARC). Det er forøvrig også blitt påvist at 57 kjemiske biprodukter frigjøres under forbrenning av polystyren, og at selve prosessen for produksjon av polystyren forurenses luften og skaper flytende og fast avfall. Isopor som er kastet rundt i omgivelsene har ført til kvelning av fugler og dyr.

Resirkulering av polystyrener er ikke en «lukket sløyfe». Kopper bestående av polystyrener blir ikke gjenvunnet og produsert til kopper igjen, men til andre produkter som for eksempel plastikkbokser eller poser (Earth Resource Foundation, u.å).



Figur 25 Cellulose sprayes mot en vegg (Mlive Media Group (2011).

Cellulose 40-50 mW/(mk)

Cellulose er lange kjeder av suktermolekyler, som gir en bemerkelsesverdig styrke. Dette er hovedkomponenten i cellenes vegger, og den grunnleggende byggestein for mange tekstiler og papir. Bomull består av den reneste formen for cellulose, men treverk er også en form for cellulose (F. Senese, u.å).

Cellulose har lenge blitt brukt som isolasjon. I 1769 brukte Thomas Jefferson en form for cellulose til isolering av sin eiendom, Monticello. Cellulose har siden 1920 blitt mer brukt enn tidligere, med en dramatisk økning etter andre verdenskrig. Energikrisen i 1970 og 1980 førte til enda større etterspørsel etter celluloseisolasjon. Denne utviklingen har med tiden ført til et bedre produkt og mer effektive installasjonsmetoder. Dagens celluloseisolasjon er godt egnet som både termisk- og lyd-isolasjon. Celluloseisolasjon er behandlet med borforbindelser som gjør den motstandsdyktig mot mugg, råte, fuktighet og brann (National fiber, u.å).

Cellulose er et meget miljøvennlig produkt som består av 80% resirkulert avisepapir. Manufacturers Association (CIMA) hevder at et hus på 1500 m² med celluloseisolasjon vil bidra til en resirkulering tilsvarende forbruk av aviser for en person over de neste 40 år. Trefiber og papir er lett å resirkulere og produksjonen krever svært lite energi i forhold til andre isolasjonstyper.

Den kjemiske behandlingen gir dette materialet permanent motstandsdyktighet mot brann. Mange fagfolk vurderer cellulose for å være mer brannsikket enn det materialet som er

mest brukt som isolasjon i dag, nemlig glassull (P. Fiset, 2007). Det tilsettes en blanding av borsyre, boraks, vannglass (silikat), myse, ammoniumpolysulfat, magnesiumklorid, ammoniumpolyfosfat etc. Dette resulterer også i at materialet er mindre attraktivt for skadedyr og sopp. Det blir tilsatt mellom 5-25% kjemikalier av massens totale vekt (Holmstad, 2007).

Cellulose gir bedre tetning av luftlekkasjer og dermed en enkel løsning på kuldebro problematikken sammenlignet med andre isolasjonsmaterialer. Dette fordi cellulose vanligvis blir blåst inn i vegger og tak i relativt finfordelt form. En oppnår dermed fullstendig dekning av isolerende materiale i veggen. Alle kabler og rør får automatisk en fullverdig isolasjon. Luftlekkasjer via sprekker og diverse mellomrom er i gjennomsnitt ansvarlig for en tredjedel av en bygnings varmetap. Det bør nevnes at en også kan tette alle luftlekkasjer med glassull og gode luftbarrierer, men om disse ikke er på plass er cellulose best totalt sett som isolasjonsmateriale. Tettpakket cellulose tilbyr kostnadseffektive, enkle, sikre og komfortable løsninger (Fiset, 2007).

Cellulose kan sprayes i tørr eller våt form. Dampet cellulose er et klissete materiale som sprayes direkte mot den ytre konstruksjonen fra innsiden av bygget. Fordelen med dampet cellulose er at cellulosen enkelt klitrer seg til veggen, slik at en får en kompakt og lufttett vegg. Fibrene må ha tilstrekkelig med fuktighet slik at de fester seg, men cellulose med for mye vann kan føre til fuktskader. 30% fuktighet er vanligvis passe.

Hvorfor ikke bruke cellulose som isolasjonsmateriale?

Å tilføre fuktighet til konstruksjonen blir vanligvis sett på som risikabelt ettersom det kan føre til råte- og soppkader. En må bruke rett mengde fuktighet, og installering bør derfor utføres av trent personell, noe som kan føre til høyere kostnader. Vegger og tak bør være åpne til fuktighet er på 25% eller lavere, noe som vanligvis tar 2 til 3 dager.

Ved bruk av cellulose vil en kunne isolere større bygg i løpet av kort tid, men det kreves noe forberedende arbeid. Vinduer, dører og elektriske bokser bør beskyttes med plastikk før bruk. Fibrene virvles opp i luften, noe som kan føre til irriterte øyne og luftveier. Bruk av maske og briller er derfor nødvendig. Visibiliteten inne i bygget vil kunne sammenlignes med en snøstorm eller tykk tåke. Støvsuging og oppspaiing av overskuddsfiber vil være en

kontinuerlig prosess fra start til slutt. Spraying av cellulose under fryseperioder vil ha en negativ effekt på slanger og utstyr, og tørkeperioden vil øke.

Celluloses evne til å holde på store mengder vann kan bidra til å skjule eventuelle lekkasjer, både før og etter byggeprosessen. Cellulose er også noe dyrere enn det mest brukte isolasjonsmaterialet på markedet i dag – glassfiber (Fisette, 2007).

Kork 40-50 mW/(mK)

Kork fremstilles av barken fra korkeik som dyrkes i Portugal, Spania og Nord-Afrika. Korken høstes 25 år etter planting, hvor barken skrelles av og selges som granulert eller skiver. Kork angripes ikke av skadedyr og er motstandsdyktig mot fukt og råte, men om materialet utsettes for fuktighet over lang tid kan det begynne å mugne. Kork krymper og ekspanderer minimalt under temperaturforskjeller. Isolasjonsverdien kan økes ved ekspansjon av vanddamp under 380 °C i trykkjele. Videre presses materialet til rør, skåler eller skiver under høyt trykk, hvor korken holdes sammen av den naturlige limeevnen. God styrke og tilbakeføringsevne er et av de kjennetegnene til kork, noe som gjør at materialet ofte anvendes til isolering av områder som utsettes for trykkbelastning, som utvendig isolering av terrassetak. Granulert kork brukes også til isolering i bjelkelag (Holmstad, 2007).

Polyurethane (PUR) 20-30 mW/(mK)

Polyuretankjemi er ansvarlig for utvikling av produkter vi i dag ikke kan tenke oss en verden uten, dette inkluderer demping i møbler og isolering av elektrisk utstyr og bygningskonstruksjoner (Bayer Materialscience, u.å.).

Et mer kjent navn for polyuretan er byggeskum eller fugeskum. Byggeskum eller fugeskum (polyuretan) er et plastmateriale som sprøytes inn i fuger, hvor materialet videre ekspanderer og til slutt herder til et relativt stivt materiale med stor poreandel. Fugeskum brukes til vindtetting av bygningsfuger, som mellomrom mellom vindu- og dørkarmen, samt varmeisolasjon i vegger og tak (Fugeskum, 2009). Etter at skummet er blitt presset ut som følge av overtrykket i beholderen begynner blandingen raskt å ese ut når isocyanat og vann reagerer. Samtidig skjer det en fornetting og polymerisasjon av polyeteren som resulterer i et herdet polyuretan. Denne prosessen tar bare noen få minutter og gir et produkt med åpne porer. Denne esingen kan økes ved å tilsette flyktige væsker, som fluortriklormetan, som fordamper på grunn av varmen som utvikles i reaksjonen.

Polyuretan er et fleksibelt og motstandsdyktig materiale som kan ta plassen til maling, gummi, metall, bomull og tre innen flere forskjellige bruksområder. Det kan være like bløtt som bomull, like hardt som fiberglass og like motstandsdyktig mot krefter som gummi. Jo høyere densitet, jo bedre varmeisoleringssevne (Ore, 2009).

Ved isolering av bygninger blir stivt polyuretanskum betraktet som et av de mest kostnadseffektive isolasjonsmaterialene, som svært slitesterkt og stabilt, og har en levetid på over 50 år. PU Nordic (u.å) hevder at stivt polyuretanskum er den riktige investeringen for fremtiden ettersom materialet:

- Gir høyere livskvalitet og eiendomsverdi.
- Fører til høy energibesparelse og reduserte kostnader.
- Tilbyr et optimalt isolerende middel med lang levetid.
- Ingen behov for vedlikehold eller reparasjoner.
- Svært enkel montering hvor materialet kan sprøytes inn, eller ved at man plasserer plater av materialet som skjæres til ønskede mål.

Stivt polyuretanskum absorberer ikke fuktighet fra luften. Dette er en svært viktig egenskap for isolasjonsmaterialer ettersom de kan bli utsatt for fuktighet under oppbevaring, transport, og montering.

Det er blitt utført avanserte tester for å utprøve materialets evne til å motstå flammer. Det har da vist seg at polyuretanskum er en varmeherdende plast som ikke smelter eller skiller ut brennbare væsker under brann (Pu nordic, u.å.).

Polyuretan produkter blir kategorisert som termoset materialer. Det vil si at de ikke kan bli videre smeltet eller omformet til nye produkter. Resirkuleringsprosesser eksisterer derfor ikke for mange polyuretan produkter (Bayer Materialscience, u.å.). Rent polyuretan derimot, hvor det ikke finnes urenheter, kan gjenvinnes ved hjelp av glykolyse (Pu nordic, u.å.).

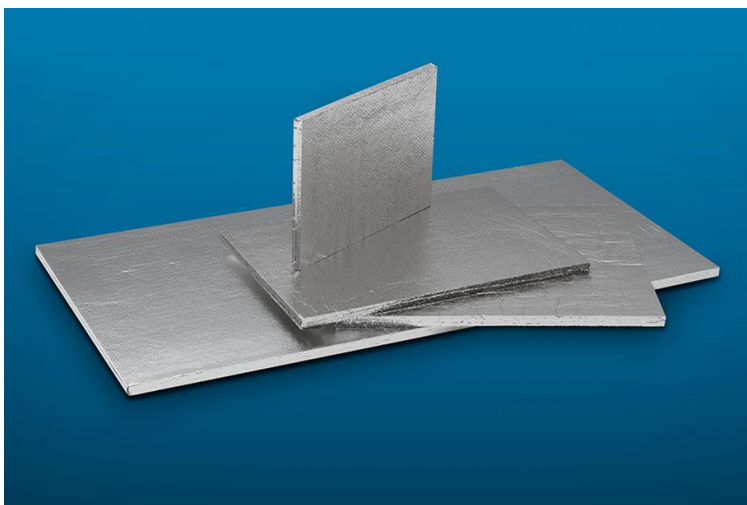
State-of-the-Art isolasjon

Krav til tillatt varmegjennomgang i bygninger blir stadig strengere. Dette fører til tykkere gulv, tak og vegger ved bruk av konvensjonell isolasjon. Bygninger for kommende generasjoner vil være lavenergi-, passiv- eller nullenergibygninger hvor det kan forventes en veggtykkelse opp mot 400 mm og enda tykkere tak. Det er derfor behov for å utvikle mer effektive

isolasjonsmaterialer med redusert konduktivitet og mindre tykkelse. Vakuum, gass, nanoteknologi og gele er noen alternativer.

Hva er poenget med å bruke vakuum som isolasjon?

Varme overføres gjennom et volum på 3 forskjellige måter: Konveksjon, konduksjon (varmeledning) og stråling. Et vakuum vil praktisk talt eliminere konveksjon da den er avhengig av tilstedeværelse av gass for å oppnå varmeoverføring. Varmeledningen reduseres også. Strålevarme reduseres ved at det utvendig benyttes et materiale som reflekterer stråling.



Figur 26 Vakuumisolasjonspaneler (Promat, u.å).

Vakuumisolasjonspanel (VIP) 4-8 mW/(mK)

VIP består av en porøs kjerne som er omringet av damp- og lufttett folie.

Varmekonduktiviteten til et vakuumisolasjonspanel vil typisk være 5 til 10 ganger lavere enn konvensjonell isolasjon.

Vakuumisolasjon er ikke et nytt produkt. Det har lenge vært i bruk på det europeiske markedet hvor de første panelene ble brukt som isolasjon i frysere (Grynning et al. 2009).

Dagens vakuumisolasjonspaneler er relativt kostbare, men anvendelse av VIP kan være direkte lønnsomt sammenlignet med tradisjonell varmeisolasjon. Dette skyldes den lave varmeledningsevnen i VIP sammenlignet med f.eks mineralull, som gjør det mulig å bygge med tynnere veggkonstruksjoner. Veggtykkelsen vil da kunne reduseres fra 35 cm bindingsverk med mineralull (160 NOK/m²) til 15 cm bindingsverk med 6 cm tykk VIP (1 600 NOK/m²). Når VIP med en tykkelse på 6 cm blir benyttet kan de resterende 9 cm i

bindingsverket fylles med mineralull for å ytterligere øke varmeisoleringssevnen (Grynning et al. 2009).

Det er klart at denne typen isolasjon utmerker seg på grunn av den svært lave varmegjennomstrømningen, men Gustavson (2012) poengterer at det også er klare ulemper ved bruk av VIP:

- Det vil dannes kuldebroer rundt kantene på panelene.
- Vakuumeffekten vil reduseres med tiden. Luft og fuktighet vil penetrere materialet. I starten vil en kunne oppnå en termisk gjennomstrømningseffekt på 4 mW/(mK), og etter 25 år vil denne øke til 8 mW/(mK).
- Om det går hull på selve panelet vil det være ubrukelig som termisk isolasjon.
- Kan ikke kuttes eller modifiseres på arbeidsplassen.

Gassfylte paneler (GFP) 40 mW/(mK)

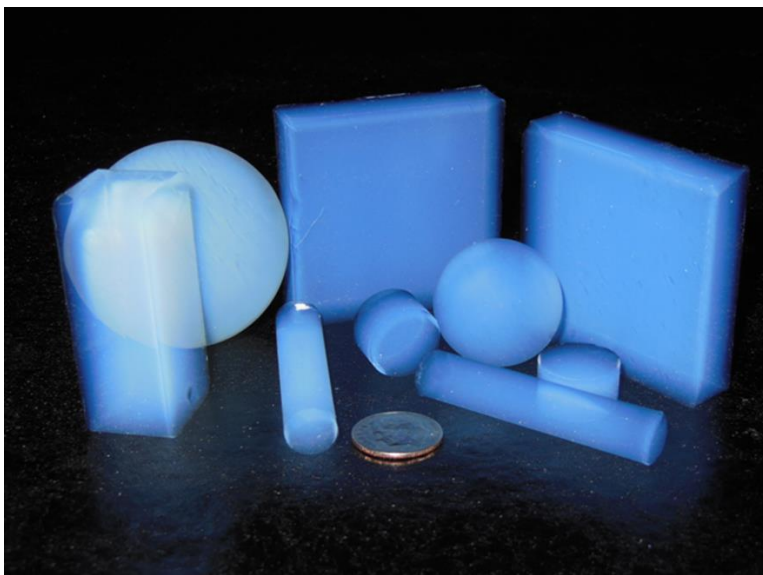
GFP består av flere avrundede og tynne lag med aluminium som kan ligne på en vokskake lik den som produseres av bier. «Vokskaken» består av flere kamre som alle er omsluttet av en forseglet barriere som videre er fylt med argon, xenon, eller krypton -gass. Disse gassene har lavere varmeledningsevne enn vanlig luft.

Fordeler med gassfylte paneler:

- Høy termisk effektivitet.
- Mulig å oppnå flere forskjellige R-verdier ettersom de forskjellige gassene har ulike varmeledningsevne.
- Resistent mot sopp og råte, og vil ikke tiltrekke seg fuktighet.
- Fungerer meget bra som lydisolering. Har vist seg å være mer effektivt enn de fleste andre isolasjonsmaterialer.
- Produktet er nesten helt flatt og ekstremt lett, som videre gjør det enkelt å lagre og frakte.
- Kan leveres i mange forskjellige størrelser for enkel montering.
- Rent og sikkert ettersom det er ingen løse fibrer involvert. Gassene er ikke skadelige for miljøet (Fi-foil., u.å).

Prisen på GFP varierer etter hvilken R-verdi som kreves, men Fi-Foil (u.å) kan meddele at GFP er dyrere enn fiberglass og billigere en polyuretan skum.

Gassfylte paneler har den samme ulempen som vakuumpaneler, nemlig det at de mister store deler av sin isolerende evne om det går hull. Luft vil da ta over plassen til gassen. Dette vil ikke nødvendigvis medføre at all isolerende effekt går tapt, ettersom stillestående luft også isolerer, men den vil bli kraftig redusert.



Figur 27 Aerogel (Marketech International Inc, u.å).

Aerogel 13 mW/(mK)

Aerogel er kjent som et meget bra isolasjonsmateriale. Dette silkebaserte materialet sprer korte bølgelengder av lys og ser derfor gjerne blåaktig ut. Sollys mot jorden blir spredt på samme måten som ved aerogel. Materialet har en meget lav massetetthet og termisk konduktivitet på ca. 13 mW/(mK). I tillegg til å være godt egnet som isolasjonsmateriale er også aerogel et bærekraftig materiale (Aerogel Norge, u.å).

Det kan argumenteres for at aerogel er den mest anvendbare av de nye teknologiene.

Aerogel er en isolasjon som ble utviklet i samarbeid med den amerikanske romfartsorganisasjonen NASA. Materialet kan enkelt beskrives som en størknet gele med porer innesperret med luft. Bruk av aerogel kan halvere isolasjonstykkelsen sammenlignet med tradisjonelle isolasjonstyper (Glava, u.å).

Bruk av aerogel som isolasjon kan være utfordrende ettersom det er dyrt å fremstille, aerogel er derfor lite brukt som isolasjonsmateriale for vegger, gulv, og tak. Aerogel er derimot svært godt egnet som isolasjon av tekniske installasjoner eller som løsning på kuldebro problematikken (Glava, u.å). Ettersom aerogelprodukter er svært kostbare, anvendes de først og fremst for å forbedre energiutbyttet ved solfangere og passiv solvarme.

Eksempler på isolasjonsmaterialer som ikke blir dekket i denne rapporten er: linfiber, leire, massivtreelementer, torv, vermiculitt, treullsementplater, kutterspon, hampfiber, kokosfiber, fåreull, halm og bomull.

2.2.4 Vinduer

Et vindu brukes til opptak av lys og luft. Vinduer er ofte arrangert ut fra arkitektoniske hensyn. Mesteparten av moderne vinduer består av glass, men det finnes også en del vinduer av gjennomsiktig plast (Encyclopædia Britannica, 2013).

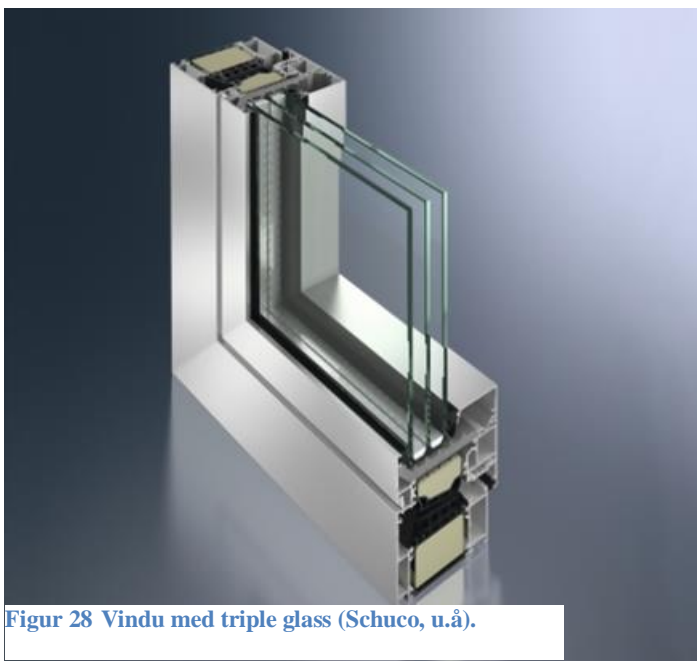
Viktige måleenheter som sier noe om vinduets egenskaper er som følger:

- Varmegjennomgangskoeffisient (U-verdi) med enheten W/m^2k . U-verdien sier noe om hvor godt et vindu hindrer varme fra å unnslippe en bygning. U-verdien vil vanligvis være mellom 0,7 og 1,4. Jo lavere U-verdi, jo bedre er vinduet til å holde varmen inne i bygningen.
- Solvarme koeffisienten (SHGC) som er et mål på hvor mye solvarme som blokkeres av vinduet. SHGC er uttrykt som et tall mellom 0 og 1. En lav SHGC verdi vil si at en stor andel av solvarmen blir blokkert. Blokkering av solvarme er spesielt viktig om sommeren, eller ved lokasjoner med et generelt varmt klima.
- Synlig transmittanse (VT) som er et mål for hvor mye lys som kommer gjennom vinduet. VT er uttrykt som et tall mellom 0 og 1. Høy VT verdi vil si at det kommer en større mengde lys gjennom vinduet.
- Luftlekkasje (AL) som måler hvor mye luft som kommer gjennom vinduet. Luftlekkasjer er uttrykt med et tall mellom 0,1 og 0,3. Jo lavere tall, jo bedre er et vindu til å holde luften ute.
- Kondensresistans, som måler hvor godt et vindu er til å motstå dannelsen av kondens. Motstand mot kondens er uttrykt ved et tall mellom 1 og 100. Jo høyere tall, jo bedre er et vindu i stand til å motstå fuktighet.

I tillegg til overnevnte måleenheter er det en del andre faktorer som må tas hensyn til ved valg av vindu, nemlig energimerking, garanti, kostnad, lydisolerende evne og vanninfiltrasjon. Vanninfiltrasjon måler vanntrykket et vindu kan motstå før vannet begynner å lekke gjennom. Jo høyere vanninfiltrasjon vurdering, jo bedre er vinduet til å motstå vannlekkasje. Det samme gjelder for vinduets evne til å motstå vindkast. Vinduets evne til å motstå fysiske krefter bør tas i betraktning, spesielt for vinduer som er utsatt for innbrudd (The National Fenestration Rating Council, 2012).

Vinduer isolerer vanligvis dårligere enn en vanlig vegg med glassull, men kan også ha en positiv effekt på energibruk på grunn av solvarme. Dagens vinduer blir betraktet som meget energieffektive sammenlignet med vinduer solgt for 25 år siden. Det finnes altså et kontinuerlig forbedringspotensial når det gjelder vinduer (U.S. Department of Energy, u.å.).

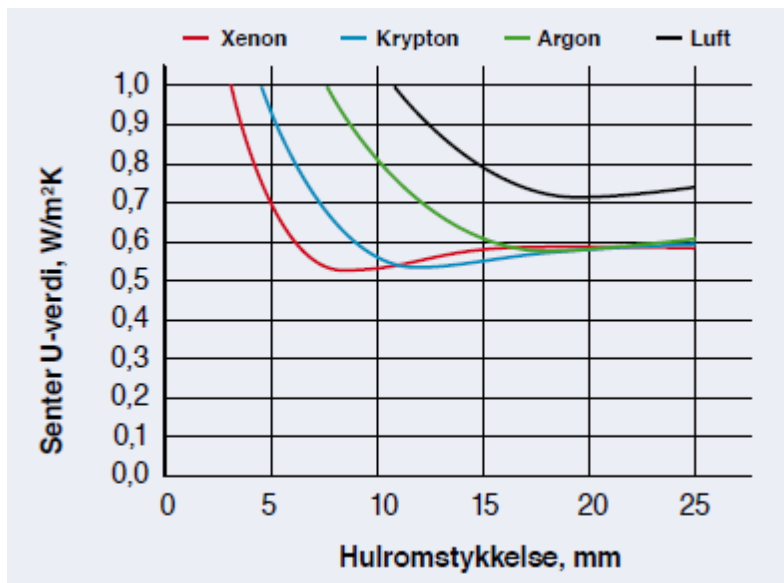
En viktig måleenhet for vinduer er U-verdien som er avhengig av både rute og karmramme. U-verdien varierer med størrelsen på vinduet, men om rammeprofilen er isolert vil variasjonen være liten. Det finnes enkle, doble, triple og fire lags vinduer, hvor U-verdien blir ytterligere redusert jo flere lag vinduet har. U-verdien er også avhengig av hulromstykkelser, gasstype, fyllingsgrad, og emisjonstallet til det varmereflekerende belegget. Et passivhus må ha tre eller fire lag glass, som da utgjør to eller tre isolerende hulrom. Disse mellomrommene er det som isolerer. For å oppnå best mulig isolerende effekt, må det være minst ett varmereflekerende belegg i hvert hulrom og hulrommene må også fylles med gasser som motstår varmeoverføring. De reflekterende beleggene i et vindu reduserer også den synlige delen av lyset som igjen gir mindre dagslys. I områder hvor det er viktig med maksimalt dagslys, som i deler av et kontorbygg, kan bruk av aerogel være et alternativ



Figur 28 Vindu med triple glass (Schuco, u.å).

(Lavenergiprogrammet, 2013).

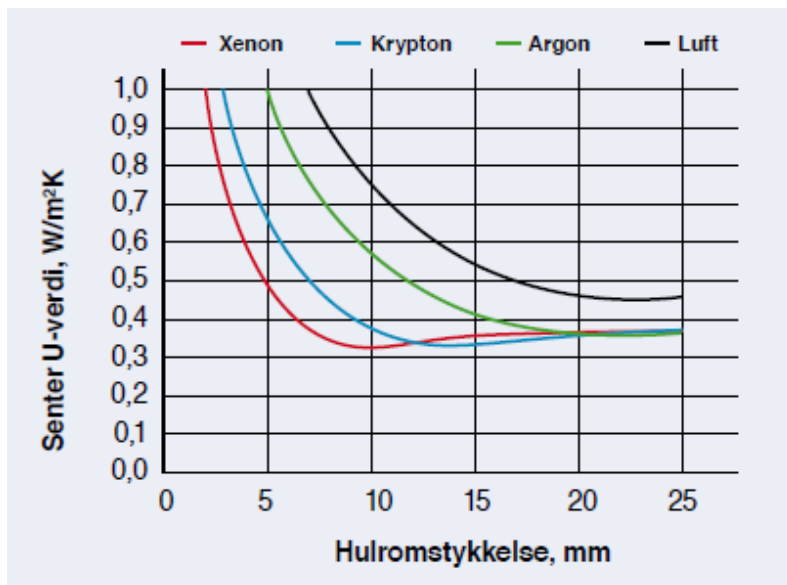
U-verdi for trelags vinduer



Figur 29: Senter U-verdi for trelags ruter og med 90% gaskonsentrasjon i hulerommene.

Senter U-verdien varierer med huleromstykkelsen. Edelgassene krypton, argon og xenon gir omtrent samme minimums U-verdi på rundt $0,55 W/m^2K$. Det må forøvrig være forskjellige huleromstykkelser for å oppnå samme U-verdi. Optimal huleromstykkelse for argon, som er den vanligste og billigste av de tre gassene, er ca. 16 mm. For krypton og xenon er den ca. 12 mm og 8 mm. Som en ser på grafen avtar U-verdiene ved økende huleromstykkelse og man får en minimumsverdi ved en spesifikk huleromstykkelse. Dette skyldes at konveksjonen i hulerommene øker ettersom tykkelsen øker (Lavenergiprogrammet, 2013).

U-verdi for firelags vinduer



Figur 30: U-verdi for firelags vinduer og med 95% gasskonsentrasjon i hulerommene.

Her kan en se hvordan senter U-verdien forandrer seg med huleromstykkelser for firelagsvinduer med ulike gass typer i hulerommene. Legg merke til at vi må ha et tykkere hulrom om krypton eller argon blir benyttet. De tre gassene kan altså gi omtrent samme minimums U-verdi ($0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$), men med forskjellige huleromstykkelser.

Som diagrammet viser, er optimal huleromstykkelser ca. 19 mm for argon, 13 mm for krypton, og 9 mm for xenon. Temperaturen inne i ruten vil øke når den utsettes for solstråling, dette vil også medføre at gassene i hulrommene utvider seg. Glassene vil da bule litt utover. Større huleromstykkelser vil føre til økende utbuling. Om denne blir for stor kan glassene sprekke. For å unngå dette kan det brukes et trelags vindu og et enkeltglass i egen ramme utvendig i stedet for firelags vindu. Det finnes også andre alternativer som bruk av kryptongass som videre muliggjør tynnere hulrom uten å miste den lave U-verdien.

Ved å øke fra tre til fire lags glass vil U-verdien reduseres med ca. 33%, lystransmisjonen med ca. 11% og solenergitransmisjonen med ca. 30%. For å gjøre opp for det tapte dagslyset er det mulig å øke arealet på vinduet. Solenergitransmisjonen vil da også bli noe redusert, dette er vanligvis ønskelig i yrkesbygg ettersom det reduserer behovet for kjøling. I boliger er solenergitransmisjonen vanligvis ønskelig når det er behov for oppvarming, altså alle tider på året unntatt sommeren (Lavenergi programmet, 2013).

Fremtidens vinduer

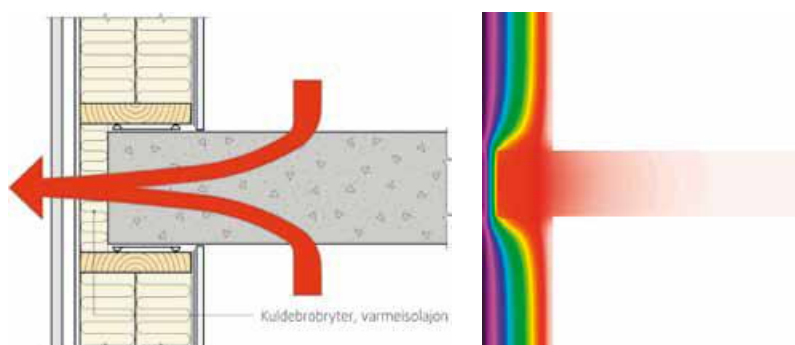
For å oppnå enda lavere U-verdier er en avhengig av å gå bort i fra edelgassene og over til vakuumb og aerogel teknologi, eller flerlagsvindu. Det er blitt bygd en prototype med et øye for masseproduksjon av denne typen vindu. Det er blant annet blitt benyttet flere lag med metalloksider og en kjerne bestående av et plastisk materiale som hindrer konveksjon. U.S. Department of Energy (u.å.) hevder at en da kan oppnå en U-verdi på $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Naturlig dagslys i bygg blir brakt inn på en helt annen måte enn den vi kjenner fra glassvinduer når en bruker aerogel. Aerogel Norge legger stor vekt på materialets evne til å redusere energiforbruket i bygg med tanke på oppvarming, kjøling og belysning. Det blir også nevnt at bruk av aerogel fører til at dagslyset føres betydelig lenger inn i bygget enn ved konvensjonelle vinduer. Det hevdes også at bruk av Aerogel vil føre til et fullspektret dagslys som resulterer i bedre velvære og arbeidsmiljø for de ansatte (Aerogel Norge, u.å.).

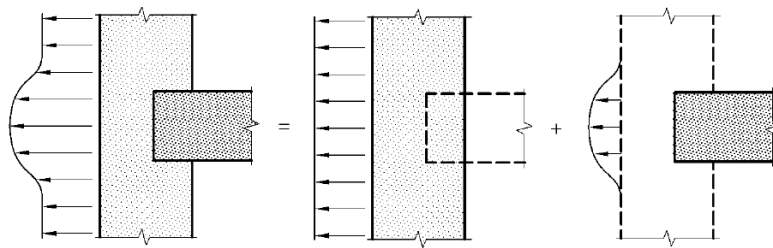
Kuldebroer

I overgangen mellom vegg og gulv, eller tak og vegg går bjelkene gjennom isolasjonen. Varm luft går til kald luft, det vil si at det transporteres energi fra innsiden til utsiden. Her får man da et område for lokalt varmetap som kalles kuldebro. En kuldebro burde egentlig kalles varmebro ettersom varme ledes ut gjennom broen. Det finnes også andre grunner til kuldebroer, som for eksempel:

- Forskjeller i tykkelsen på materialet.
- Skjæringspunkter mellom konstruksjonsandeler, også kaldt geometriske kuldebroer.
- Ved etasjeskille eller når innvendig skillevegg møter en yttervegg som vist på bildet under.



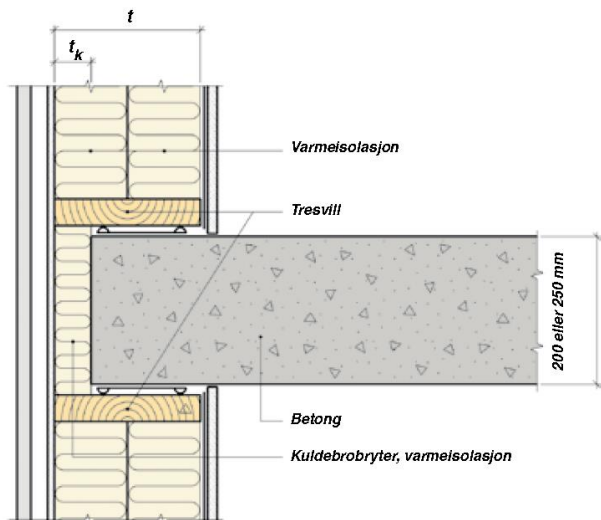
Figur 31 Illustrasjon kuldebro (Lavenergi programmet, 2013)



Figur 32 Totalt varmetap fra kuldebroer (Lavenergiprogrammet, 2013)

Kuldebroverdien er tapet gjennom kuldebroen (W) delt på lengden på kuldebroen og temperaturforskjellen (W/mK). Figuren ovenfor illustrerer det totale varmetapet som er varmetap gjennom vegg plus varmetap fra kuldebroer.

Tiltak for å unngå kuldebroer



Kilde: SINTEF Byggforsk DS

Figur 33 Tiltak for motvirking av kuldebro (Lavenergiprogrammet, 2013)

For å redusere virkningen av kuldebroen kan det legges et ekstra lag med isolerende materiale i konstruksjonen og/eller øke veggtykkelsen. Da vil varmetapet avta, men kuldebroverdien vil derimot øke. Grunnen til dette er at kuldebroen (betongdekket), stikker lenger ut i vegg når veggtykkelse øker og kuldebroisolasjonen er fast. Det er derfor viktig å ta hensyn til samlet varmetap når en skal vurdere alternative løsninger i forhold til energieffektivitet.

For å reduserer virkningen av kuldebroen for vinduer kan de altså plasseres lenger inn i konstruksjonen.

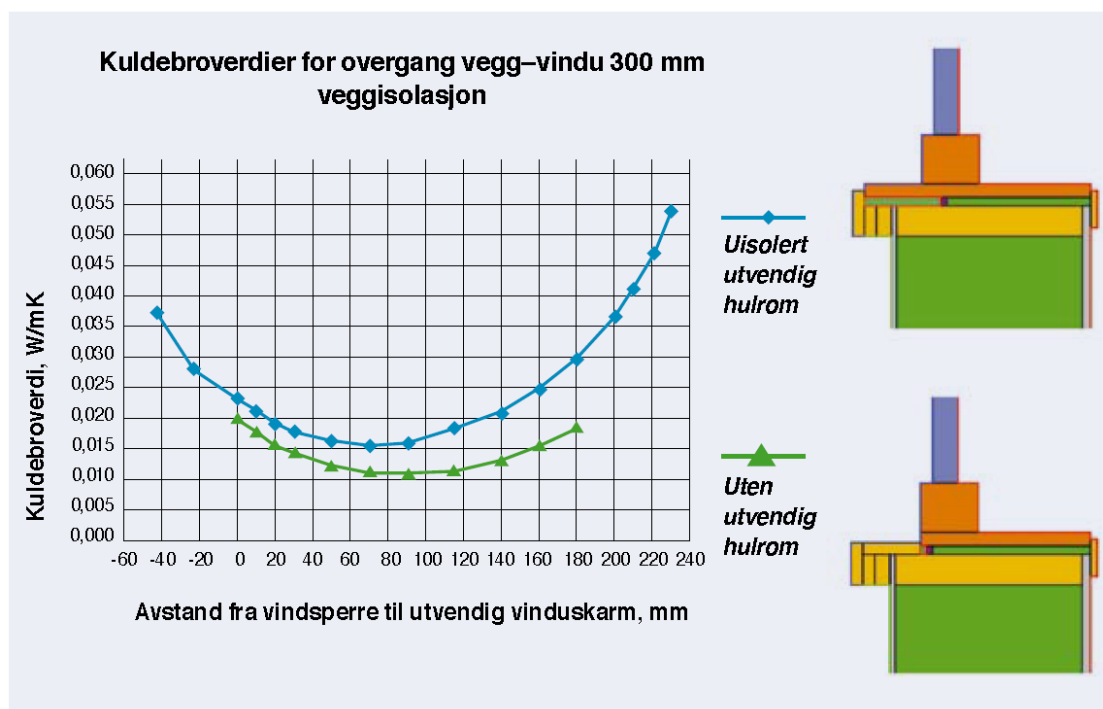
Har vindusplassering noe å si for energibruken?

Det finnes to alternativer for vindusplassering:

1. Vindet plasseres med sporet i bunnkarmen i plan med vindspærren. Altså langt ute i veggen.
2. Vinduet plasseres et stykke inn i isolasjonssjiktet.

Kuldebroverdier for bygget vil variere etter hvordan vinduene er plassert i konstruksjonen. Hvor langt inn i veggen vinduet er plassert og tilslutning mellom vinduet og veggen er avgjørende for kuldebroverdier. I prinsippet må vinduene plasseres et stykke inn i veggen som videre fører til at en må ivareta fuktbarrieren på en annen måte enn om vinduet blir plassert lenger ute i veggen – som er vanlig praksis i dag. En vegg med 400 mm og vindu plassert langt ute i veggen har en typisk kuldebroverdi på 0,03 W/mK, en tilsvarende tilslutning med vinduet plassert 35 mm inn i veggen vil derimot ha en kuldebroverdi på 0,02 W/mK (Lavenergiprogrammet, 2013).

Hvorfor bør en plassere vinduer litt inn i veggen?



Figur 34 Kuldebroverdier sett i forhold til vinduplassering (Lavenergiprogrammet, 2013)

Kurvenerne over viser beregnede kuldebroverdier som funksjon av posisjonen til vinduet, og uttrykkes ved avstand fra vindusperre til utvendig vinduskarm. Beregningene er gjort på et forenklet vindu i tre.

Det blir lenger vei å gå for varmen som strømmer rundt karmen om vinduet blir plassert forholdsvis midt i vegg enn om det plasseres langt ute eller langt inne. Kuldebroverdien er avhengig av dybden til karmen og om den er isolert eller ikke. Det er mange meter vindusomkrets i en bygning, som videre gjør at samlet kuldebroverdi vil kunne resultere i en relativ forskjell i energibruk.

2.2.5 Grønne tak



Figur 35 Torvtak (Fossli, u.å.).

Grønne tak har sin opprinnelse fra langt tilbake i tid, hvor det i Norge har vært en tradisjon å ta i bruk torvtak. Flere kjente arkitekter brukte på 1900-tallet grønne tak som et element i bybildet. Senere økte også interessen for grønne tak i resten av Europa. Bekymring for nedsatt livskvalitet og nedgang i mengde grønne områder i byene var noe av bakgrunnen for dette.

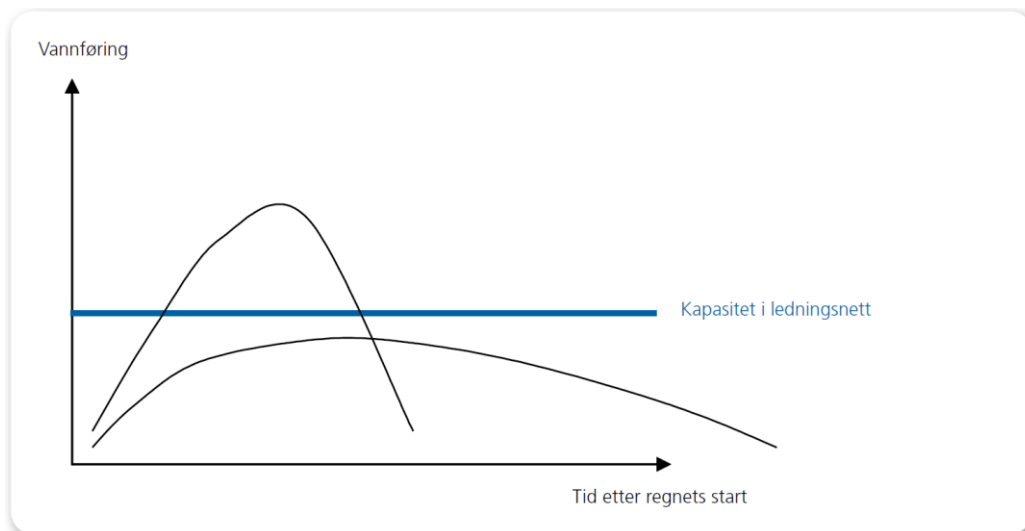
Grønne tak har utviklet seg til å bli et symbol på moderne miljøtenkning og er et attraktivt alternativ for å imøtekomme klimautfordringer.

Det finnes to typer grønne tak:

1. Ekstensive grønne tak som krever minimalt med vedlikehold. Består hovedsakelig av plantetypen sedum. Målet er å oppnå positive miljømessige fordeler og en isolerende effekt.
2. Intensive grønne tak som fungerer på samme måte som en vanlig hage. Krever mye vedlikehold og kan brukes like mye som en park på bakkeplan. Består hovedsakelig av plen og busker, men en kan også plante mindre trær (Dahl, u.å.).

Hvorfor grønne tak?

- Et grønt og avkoblende miljø har stor innvirkning på menneskers velvære.
- En oppnår en støyreducerende barriere. En kan i gjennomsnitt oppnå en støyreducerende effekt på ca. 6 db i underliggende lokaler.
- Grønne tak har en varmeisolerende effekt på vinteren og fordampning av vegetasjon motvirker oppvarming av lokaler ved varme sommerdager. Dette fører videre til redusert energibruk.
- En vil kunne oppnå økt effekt av solceller i kombinasjon med grønne tak ettersom de opererer mer effektivt ved sval omgivelsestemperatur. På bakgrunn av dette er det blitt påvist at en oppnår en effekt som er ca. 6% høyere enn om en ikke hadde benyttet grønne tak.
- Grønne tak bidrar til rensing av luft. Ved beregning er det blitt påvist at 10 kvadratmeter med grønne tak kan ta opp like mye karbondioksid som et stort tre.
- Grønne tak beskytter takmembranen mot nedbryting av UV-stråler.
- Grønne tak holder igjen avrenninger ved perioder med mye nedbør, som videre fører til redusert belastning for avrenningssystemer (Dahl, u.å.).



Figur 36 Illustrer avrenninger ved grønne tak (Figur: O. Lindholm, UMB)

Ved å forsinke avrenninger forhindrer en oversvømmelser under perioder med mye nedbør. Fordelen ved å forsinke avrenningen av overvannet til avløpssystemet er illustrert i figuren over. Det vil gå lenger tid før tilsvarende mengde vann er i avløpssystemet om en benytter grønne tak. Som vi ser kan vannføringen komme over kapasiteten til ledningsnett som videre vil føre til oversvømmelser. Grønne tak vil ikke gi fra seg samme mengde før jorden er mettet på vann. Det vil forøvrig også skje en delvis fordampning av vannet.

Det er hovedsakelig to ulemper med grønne tak:

- De krever vedlikehold (noen typer mer enn andre) for å beholde sin estetiske verdi og isolerende effekt.
- Større krav til styrke av konstruksjonen (Dahl, u.å.).

2.2.6 Belysning

Alminnelig glødelampe/lyspære

Pæren består av glødetråd som videre er innkapslet i en glasskolbe. Glasskolben er fylt med en gassblanding for å motvirke fordampning av glødetråden. Glødetråden vil kunne fordampe ettersom den vil komme opp i høye temperaturer når lampen er tent (ca. 2500°C). En høyere temperatur vil gi et bedre lysutbytte, men vil også bidra til redusert levetid. En lavere temperatur vil gi dårligere lysutbytte, men lengre levetid. Vanlige lyspærer har som regel en levetid på rundt 1000 timer, men en kan oppnå en levetid på ca. 2500 timer om lysutbyttet reduseres. Normalt lysutbytte for alminnelige glødelamper er 20 lumen per watt.

Lumen er lysmengde per tidsenhet som strømmer gjennom en avgrenset flate (Lyspære, 2009).

Den alminnelige lyspæren ble først patentert av Thomas Edison i år 1879. Disse pærene var lite energieffektive og hadde kort levetid. Det ble testet ut nye løsninger hvor målet var et energieffektivt produkt med lang levetid. Det endte til slutt med en lyspære som besto av kulltråd, glass og nitrogen (U.S. Department of Energy, 2013). Glødetråden besto av forkullet bambusfiber og var i bruk helt til den ble erstattet med metallglødetråden (Kulltrådlampe, 2009).

1. september 2009 ble det igangsatt tiltak for å redusere bruken av lyskilder med dårlig energieffektivitet. Vanlige glødepærer skulle skiftes ut med mer energieffektive pærer som lavenergipærer, halogenpærer og LED-pærer (Lyspære, 2009).

Fordeler med alminnelig glødelampe:

- Bra fargegjengivelse.
- Lyset kan dimmes/dempes.
- Lav pris.

Ulemper med alminnelig glødelampe:

- Kort levetid.
- Genererer mye varme. Brannfare.
- Liten lysmengde i forhold til el-forbruk.
- Er på vei ut (Enova, 2011).

Halogen glødelampe

Halogenlampen er basert på samme prinsipp som den tradisjonelle glødelampen. Forskjellen er at det blir brukt et halogen, ofte brom eller jod, som fører til at glødetråden kan ha en høyere temperatur (2500°C). Halogenpærer har dobbelt så lang levetid som vanlige glødetrådslamper (ca. 2000 timer). Halogenpærer avgir et sterkere lys på grunn av den høye temperaturen som videre gjør at de avgir UV-stråling. Det er derfor vanlig med glass eller filter som blokkerer UV-stråling (Halogenpære, 2009).

Fordeler med halogen glødelampe:

- Små og praktiske størrelser.
- Kan benyttes som "spotlight" /" downlight".
- Lyset kan dimmes.

Ulemper med halogen glødelampe:

- Genererer en del varme. Utgjør derfor en brannfare (Enova, 2011).

Fluorescerende lamper (lysrør).

Lysrør har lysutbytte på ca. 50 – 80 lm/W og levetid på ca. 6000 – 10 000 brukstimer.

Virkemåten til fluorescerende lamper er simpel. En har en glasstube med elektroder i hver ende. Disse elektrodene kalles katoder. Elektrodene sender strøm gjennom gassen i lampen. Gassen i lampen er argon med en meget liten mengde kvikksølv. Når strømmen skrues på blir katodene varme som videre gjør at de avgir elektroner. En høyvolts strøm sendes gjennom gassen. Spenningen skyver elektronene gjennom røret og det dannes en lysbue fra den ene katoden til den andre. Kvikksølvet fordampes og det avgis ultrafiolett lys. UV-lyset treffer et lag av fosfor på innsiden av røret. Etersom fosfor lyser når det blir truffet av UV-lys tennes lampen (Holtebekk, 2009).

Etersom lysrør inneholder kvikksølv må de behandles som spesialavfall (Holtebekk, 2009).

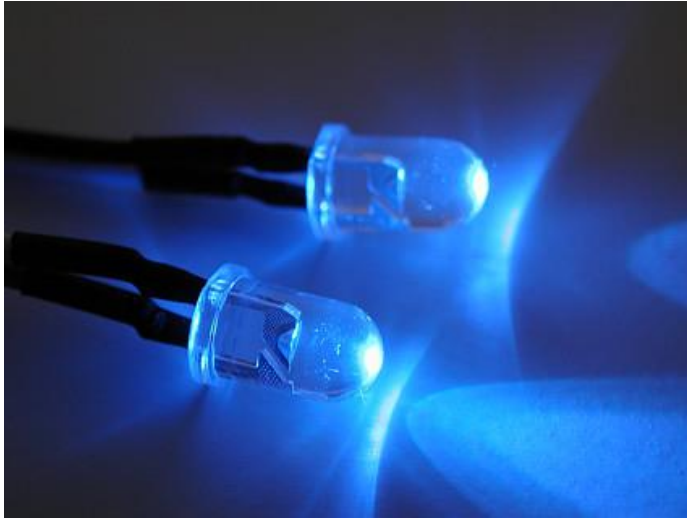
Fordeler med fluorescerende lys:

- Lenger levetid enn for tradisjonelle glødelamper.
- Billig med lavt strømforbruk.
- Lyset kan dimmes.
- Lav strålevarme.

Ulemper med fluorescerende lys:

- Kan vanligvis ikke dimmes.
- Levetiden reduseres om lampen tennes ofte.
- Lite bruksområde når det gjelder forskjellige armaturer (Enova, 2011).

LED



Figur 37: LED (Thon, 2005)

LED står for "Light Emitting Diodes" som er kjent for å være meget energieffektive. Dioder er elementer som sørger for at strøm kun går i en retning. Strømmen går gjennom en strømledende krystall som da avgir lys. Når LED først ble utviklet ble lysdioder begrenset til single pærer og hovedsakelig brukt i instrumentpanel og elektronikk (se figur 37).

Produsenter har utvidet anvendelsen av lysdioder ved å plassere en mengde av små pærer i en klase. De første pærene i slike grupper av klaser ble først brukt til batteridrevne elementer som lommelykter og hodelykter. I dag består gjerne en LED pære av så mange som 180 små pærer.

Et vesentlig trekk ved lysdioder er at lyset er retningsbestemt, i motsetning til glødepærer hvor det skjer en sfærisk spredning av lyset.

Forskere har utviklet en prosess hvor det kan benyttes silisiumskiver til produksjon av lysdioder som erstatter det dyre materialet safir. Dette gjør at LED-pærer i dag kan selges til konkurransedyktige priser (Earth Easy, u.å.).

LED-pærer har lysstyrke på 4,5 – 150 lm/W og levetid på ca. 30 000 – 50 000 timer (Enova, 2011).

Fordeler med LED:

- LED pærer varer opptil 10 ganger lenger enn fluorescerende pærer og langt lenger enn typiske glødepærer.

- Liten varmeutvikling i forhold til andre typer pærer.
- Ingen kvikksølv brukes i produksjon av LED.
- Mengde watt en LED lyspære bruker er 1/3 til 1/30 av en glødepæres forbruk. Dette fører videre til økt levetid på 10 til 15 ganger mer enn for glødepære.
- Kostnadseffektive – selv om lysene i utgangspunktet er dyre, vil kostnaden bli tjent inn over tid.

Ulemper med LED:

- Varierende pris.
- Ikke alle LED-pærer kan dimmes (Earth Easy, u.å.).

Lønnsomhet

Når en sammenligner en lyspære på 60 W med en 11 W sparepære og tar hensyn til levetiden, vil en kunne oppnå en lønnsomhet på kr 460 med sparepære.

Når en sammenligner en lyspære på 40 W med en 7 W LED-pære og tar hensyn til levetiden, vil en kunne oppnå en lønnsomhet på kr 1 255 med LED-pære.

LED-pærer er altså en klar vinner når en tar hensyn til strømforbruk, pris og levetid (Enova, 2011).

3.0 24/7-bygget – ambisjon om et nullenergibygget i Haugesund

I dette kapitlet vil vi gi informasjon om bygget som oppgaven er knyttet opp mot med prosjektinformasjonen, lokasjon og arealtegninger. Konkrete vurderinger og forslag til tiltak for bygget kommer i kapittel 5.

3.1 Problemstilling

Hvilke energi- og kostnadseffektive tiltak er nødvendige for å oppnå et nullenergi kontorbygg i Haugesund?

3.2 Avgrensning

Dette kapitlet tar for seg det energieffektive kontorbygget som oppgaven handler om (24/7-bygget) med tanke på beliggenhet og prosjektinformasjon. I kapittel 2 tok vi for oss de tiltak som er tilgjengelige i henhold til energibesparelse og kostnad. Her ble det videre delt opp i to deler, nemlig byggetekniske tiltak (design, isolasjon, grønne tak, vinduer osv.) og tekniske tiltak (solceller, varmepumper, borehull, solfanger osv.) som kan brukes for å oppnå nullenergi. Etter vurdering vil vi så, i kapittel 5, komme med konkrete forslag til de tiltak vi finner best egnet for å oppnå de målene og begrensningene som er satt.

For å begrense oppgaven har det blitt bestemt at man ved vurdering av ulike energiproduserende tiltak ikke skal ta hensyn til den energibruken som er nødvendig for å holde kontorutstyr og elbiler gående. Vi vil heller ikke ta i betraktning den energien som kreves og brukes under selve byggeprosessen.

3.3 Prosjektinformasjon – 24/7-bygget

24/7-bygget er et kontorbygg som skal bygges på Rossabø i Haugesund kommune. Det er planlagt å oppføres i 2015 ved rundkjøringen E 134 og Spannavegen i Haugesund med en byggetid på 1-2 år. Med tanke på profilering og tilgjengelighet har bygget en optimal beliggenhet. Bygget vil tilrettelegge for både tradisjonelle og moderne kontormiljøer, og har allerede på plass PDS Protek AS som leietaker.



Figur 38 24/7-bygget fasade mot sør og vest

Byggestarten for prosjektet er som nevnt satt til 2015 hvor man skal være klar for innflytting i 2016. Bygget skal gi arbeidsplass for 150-180 personer og ha 91 parkeringsplasser. Videre består bygget av to soner med henholdsvis 6 og 4 etasjer hvor totalt BTA utleie er på 4207 m², med 800 m² utleie per etasje. Rossabø Eiendom AS er utvikler i prosjektet og PDS Protek AS er utviklers forslagsstiller og arkitekt.

Det er bestemt at bygget skal ha en takhage i 5 etasje med utsikt over hele byen. Det skal være direkte adkomst til takhagen fra kantinen og fellesarealene i bygget. Det skal også etableres rikelig med p-plasser i kjelleren med heis direkte til kontorene, samt en rekke p-plasser på bakkeplan for besøkende. Bygget skal ha to heiser for å gi effektiv kommunikasjon i bygget. I tillegg til p-plasser skal bygget også ha rikelig med plass til parkering av sykler med enkel adkomst til garderobe med dusj. Når det gjelder planløsninger er det tilrettelagt for valgfrihet knyttet til kontorløsninger med åpne landskap og tilrettelagte arealer.

24/7 bygget kan betraktes som et flerfunksjonsbygg. Det planlegges/vurderes nemlig å bygge et forretningslokale i den ene delen av bygget. Kontorlokalene faller her under en annen bygningskategori enn forretningslokalene. Bygningskategorien bestemmer energirammen bygget omfattes av og påvirker standardverdiene for en rekke inndata som brukes ved evaluering mot forskrifter (TEK 10, NS 3701 o.l.). Samlet kan 24/7 bygget anses og energi beregnes som en kontorbygning så lenge den deles opp i soner i henhold til NS

3031. Bygget deles dermed inn i to soner hvor hver enkelt del må tilfredsstille byggeforskriftenes krav. Arealplanen for bygget er gitt i tabell under. I tillegg har vi fått oppgitt at totalt oppvarmet BRA er satt til 4858 m² med vindusareal på 1215 m².

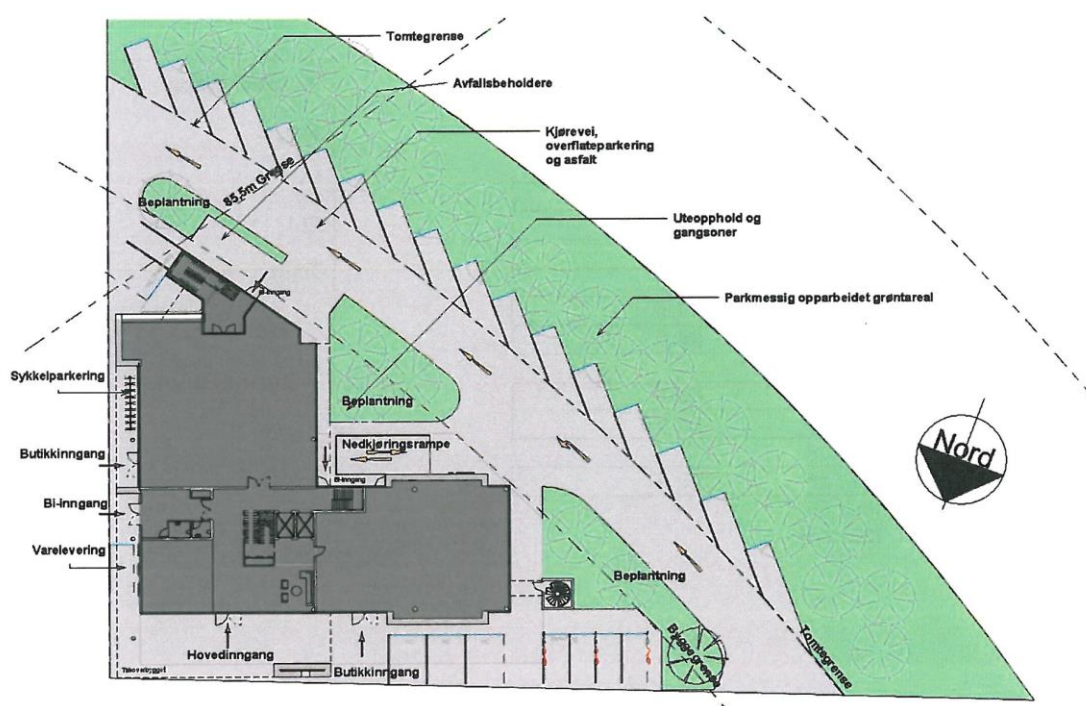
Benevnelse	Areal	Level
Felles	102,2 m ²	Et. P.2
Parkering	927,7 m ²	Et. P.2
Et. P2: 5	1030 m ²	
Felles	164,3 m ²	Et.P.1
Parkering	863,3 m ²	Et. P.1
Et. P1:6	1027,5 m ²	
Felles	219,1 m ²	Et. 1
Utleie	588,1 m ²	Et. 1
Et. 1: 6	807,2 m ²	
Felles	133,4 m ²	Et. 2
Utleie	748,2 m ²	Et. 2
Et. 2: 4	881,5 m ²	
Felles	145,9 m ²	Et.3
Utleie	779,2 m ²	Et.3
Et. 3 : 6	925,1 m ²	
Felles	145,5 m ²	Et. 4
Utleie	772,9 m ²	Et. 4
Et. 4: 7	918,3 m ²	
Felles	142 m ²	Et. 5
Kantine	189,9 m ²	Et. 5
Utleie	587,8 m ²	Et. 5
Et. 5: 6	919,6 m ²	
Felles	121,6 m ²	Et. 6
Utleie	542,6 m ²	Et. 6
Et. 6: 3	664,1 m ²	
Felles	165,7m ²	Et. 7

Et. 7: 1	165,7 m ²	
Totalt	7339,1 m ²	

Tabell 5 Arealplan 24/7-bygget

Det er oppgitt at bygget har et beregnet behov for levert energi på 220 500 kWh/år hvor energi til teknisk utstyr utgjør 91 300 kWh/år.

Bygget er planlagt med lavt energibehov, både med tanke på kjøling og oppvarming. Det er enda ikke blitt valgt hvilke tekniske løsninger som skal tas i bruk for å oppnå dette. Forslag til løsninger kommer i kapittel 5.



Figur 26 Tomteplan 24/7-bygget

4.0 Simuleringsprogrammet SIMIEN

SIMIEN er et energisimuleringsprogram som gir en tilbakemelding på om et bygg er innenfor forskriftenes energirammer (TEK10, NS3701 e.l.). Andre bruksområder for SIMIEN er dimensjonering av anlegg for kjøling/oppvarming, karakterfastsettelse i forhold til energimerkeordningen og til energiberegninger. Disse energiberegningene inkluderer byggets årlige energibehov, andel energiforbruk som dekkes av fornybare energikilder og varmetap fra kuldebroer.

Når bygningen skal simuleres må en først definere bygningskroppen og det tekniske anlegget i bygget. Dette kan for eksempel være et kontorbygg med gulvareal på 900 m² med 25% vindusareal, varmepumpe og balansert ventilasjonsanlegg. Både varmepumpe (eventuelt kjøleanlegg) og ventilasjonsanlegg må beskrives med effekt og virkningsgrad. I tillegg må det legges inn verdier som u-verdi for gulv, vegger, tak, dører og vinduer (ProgramByggerne, 2015).

Bygningen kan deles opp i flere soner eller rom. I hver enkel sone legges det inn tak, vegg, gulv, dører og vinduer. Det er ofte forskjell på ønsket tilstand i de forskjellige soner/rom. Hver enkelt sone beregnes for et år med intervaller på 15 minutter. Det er også mulig å simulere romtemperaturen for et rom over en spesifikk periode, for eksempel et døgn, for å enklere se hvordan temperaturen forandrer seg.

Inndata klima	
Beskrivelse	Verdi
Klimasted	Oslo
Breddegrad	59° 55'
Lengdegrad	10° 45'
Tidssone	GMT + 1
Årsmiddeltemperatur	6,3 °C
Midlere solstråling horisontal flate	110 W/m ²
Midlere vindhastighet	2,2 m/s

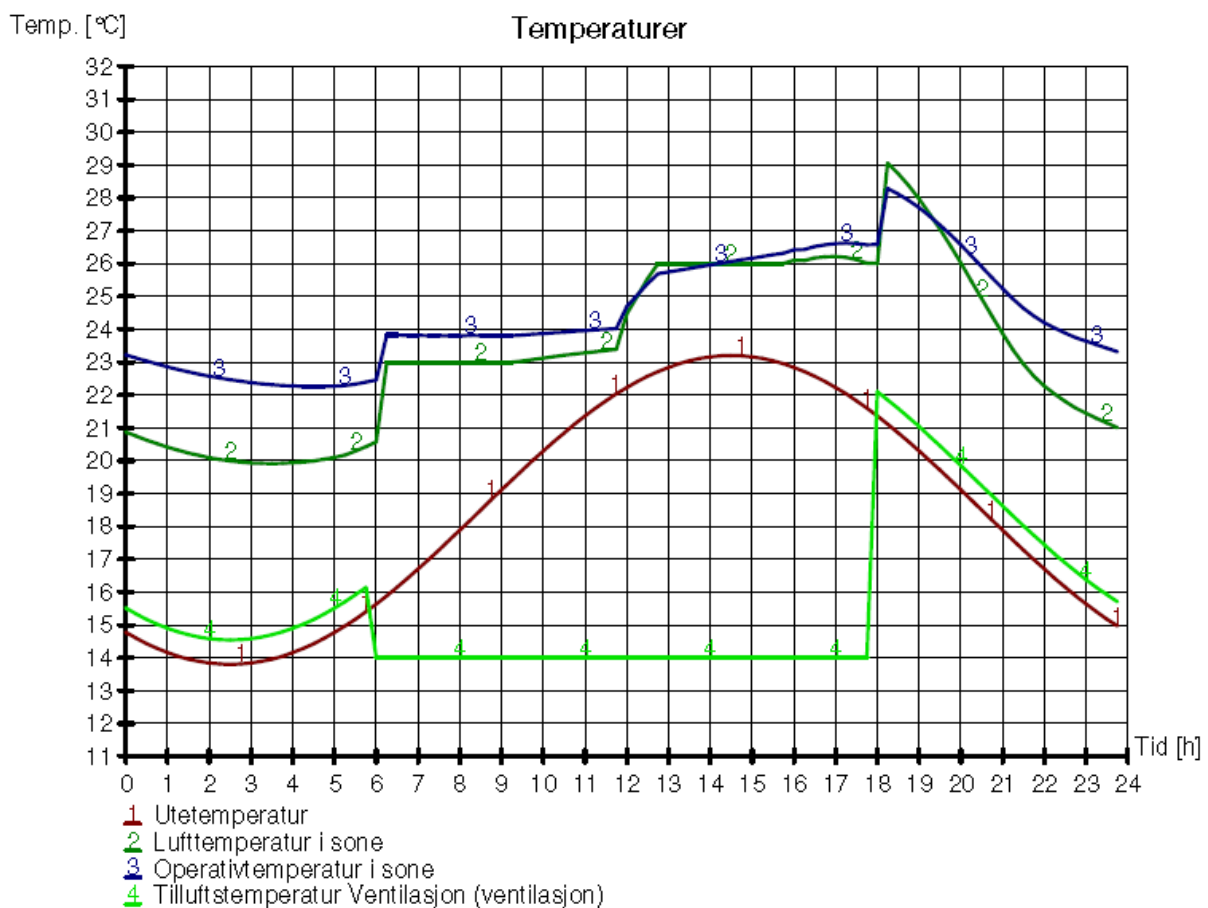
Tabell 6 Data lokasjon Oslo (SIMIEN)

Tabellen over viser et eksempel på en simulering for et bygg i Oslo. Programmet har klimadatabase som forandrer seg etter gitt posisjon. SIMEN tar hensyn til utvendig middeltemperatur, midlere solstråling på horisontal flate og midlere vindhastighet i løpet av

et år for et gitt område. En velger da lokasjon, for eksempel Oslo eller Bergen som gir en mer nøyaktig simulering.

Hvilken bygningskategori som gjelder for bygget må velges. Et eksempel på bygningskategori kan være kontorbygg. Bygningskategorien brukes for å evaluere bygget mot gjeldene forskrifter. Videre må en velge hvilken energiforsyning bygget har. Det kan være elektrisitet, olje, gass, fjernvarme, biobrensel, varmepumpe og/eller sol. Driftstid for hver enkelt energiforsyning må legges inn. Det er forøvrig også en del andre variabler programmet kan ta hensyn til som spesifisering av konstruksjonstype, møbler og type solavskjerming.

Når nødvendig «inndata» er lagt inn vil programmet gi oss en tilbakemelding i form av grafer og tabeller.



Figur 39 Simulering av kritisk sone

Grafen over er et resultat av simulering over et døgn av kritisk sone i 6 etasje sør i 24/7-bygget. Med kritisk sone menes et område i bygget hvor en kan oppnå høyere enn ønskelig temperaturer om sommeren. Som vi ser blir kjølingen til ventilasjonsanlegget slått av

klokken 18 og vi oppnår som følge av dette en temperatur på ca. 28 grader celsius. Tilluftstemperaturen (graf 4) stiger da fra 14 til 22 grader, denne følger altså utetemperaturen (graf 1). Grunnen til dette er at bygget fremdeles vil bli ventilert med samme temperatur som uteluften. I tillegg til temperatur er det også mulig å hente frem grafer som beskriver CO₂-konsentrasjonen, luftfuktighet og varmetilskudd/kjøling.

Minstekrav enkeltkomponenter			
Beskrivelse		Verdi	Krav
U-verdi yttervegger [W/m ² K]		0,17	0,22
U-verdi tak [W/m ² K]		0,18	0,18
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m ² K]		0,18	0,18
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]		0,80	0,80
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]		0,03	0,03
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]		80	80
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:		1,50	1,50
Varmetapstall glass/vinduer/dører		0,20	0,24
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]		0,60	0,60

Tabell 7 Vurdering opp mot NS 3701

Tabellen ovenfor viser en vurdering av 24/7-bygget mot NS3701 med 36 mm bindingsverk, 250 mm isolasjon med U-verdi på 0,17. SIMIEN bidrar til at en kan dokumentere byggets energieffektivitet og utpeker hvor det eventuelt bør gjøres tiltak. Tilfredsstiller ikke modellen

Minstekrav enkeltkomponenter			
Beskrivelse		Verdi	Krav
U-verdi yttervegger [W/m ² K]		0,21	0,18
U-verdi tak [W/m ² K]		0,13	0,13
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m ² K]		0,13	0,15
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]		0,97	1,20
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]		0,05	0,05
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]		75	70
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:		1,54	2,00
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]		1,62	1,00

Tabell 8 Vurdering hvor krav ikke er oppfylt (ProgramByggerne, 2015)

kravet på noen av punktene vil disse endre farge fra grønn til rød (ProgramByggerne, 2015).

Ovenfor er et eksempel på hvordan tabellen ser ut dersom noen av punktene ikke er innenfor kravet. U-verdi yttervegger er i dette tilfelle 0,21 W/m²K. Dette tilfredsstiller ikke

kravet på $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$. Legg også merke til at lekkasjetallet på 1,62 ikke tilfredsstillter kravet på 1,00.

5.0 Forslag til tiltak for 24/7 bygget

I dette kapitlet vil det presenteres de tiltak vi ønsker å anbefale i henhold til den kunnskap vi har tilegnet oss. Dette er forslag og anbefalinger vi finner best egnet for å oppnå de målene og begrensningene som er satt for 24/7 bygget.

5.2 Tekniske tiltak – Ventilasjon

I kapittel 2.1.1 ble aktuelle tiltak og løsninger for ventilasjon forklart. Ut fra informasjonen i dette kapitlet kommer det klart frem at det er nødvendig å ta i bruk balansert ventilasjon med varmegjenvinning for å kunne oppnå energikravet i teknisk forskrift (TEK 10). Videre i kapitlet blir det forklart at dette er løsningen på det energitapet som tradisjonell mekanisk ventilasjon medfører, 70 % av den energien som går tapt her kan gjenvinnes i et balansert system (Alonso et.al, 2014). På tross av økt vedlikeholdsbehov og høye installasjonskostnader, vil et balansert system være både økonomisk og miljømessig lønnsomt i lengden. Et slikt system er også et nyttig verktøy for fjerning av overskuddsvarme. Dette er en viktig fordel for 24/7 bygget, da nullenergibygg vanligvis er godt isolerte (se kapittel 1.3). Bruk av balansert ventilasjon reduserer også varme- og kjølebehovet, noe som igjen reduserer den energien som vanligvis er nødvendig her. Ved å kombinere balansert ventilasjon med en god varmegjenvinner kan man oppnå en 80 % reduksjon av det energitapet man vanligvis får via ventilasjonsanlegget. Alt dette er klare grunner for å velge et balansert ventilasjonssystem med varmegjenvinning. Ytterligere fordeler og ulemper står beskrevet i kapittel 2.1.1 under overskrift ``Dagens ventilasjonsprinsipper`` og ``Energitiltak for ventilasjon``.

Et ventilasjonsaggregat med varmegjenvinning kan også brukes i kombinasjon med en annen oppvarming som varmepumpe og solvarme, noe som er svært aktuelt for et nullenergibygg som 24/7 bygget. Et slikt ventilasjonsanlegg fjerner partikler, lukt og fuktig og varm luft. For å sikre 25-40 % relativ fuktighet anbefaler vi at man i ventilasjonsanlegget tar i bruk såkalte fuktgjenvinnende varmegjenvinnere. Disse sørger nemlig for at luftfuktigheten holdes under 45 %. Årsaken til at man ønsker dette står beskrevet i kapittel 2.1.1 under balansert ventilasjon. Det er viktig at aggregatet dimensjoneres korrekt etter størrelsen på 24/7 bygget. Dette bør derfor gjøres i samarbeid med aktuelle salgskonsulenter for ventilasjonsaggregater. Man bør også forsikre seg om at aggregatet kan stilles inn på

kjøle drift slik at det kan brukes til avkjøling. Levetiden for et ventilasjonsaggregat er vanligvis mellom 25 og 30 år der inntjeningstiden ligger på 6 til 8 år (Nilan, u.å.).

Det første året av levetiden til 24/7-bygget vil utslipp av forurensinger fra bygningsmaterialene til inneluften være størst. Det er derfor viktig med høy kontinuerlig luftveksling dette året. Grunnet tettere isolert bygningskropp (se kapittel 5.5 for valgt isolasjon) vil også bygget ha økt risiko for dårlig inneklime og redusert luftkvalitet. Balansert ventilasjon er derfor et godt tiltak for å unngå disse negative konsekvensene.

For å redusere energibruket bør man også unngå innsnevring, skarpe bend og mange og skarpe avgreininger. Ventilasjonskanalene bør også isoleres godt (Enova, u.å.). For å unngå for høye temperaturer om sommeren anbefales det også å ta i bruk aggregater som gir mulighet for trinnløs styring av tillufttemperaturen i forhold til avtrekkstemperatur (Wigenstad, 2012).

Vi anbefaler også at det tas i bruk et system for behovsstyring i 24/7-bygget på tross av store kostnader. God behovsstyring kan, som nevnt i kapittel 2.1.1, redusere energibruken til ventilasjon, luftpoppvarming og luftkjøling med så mye som 30-40 kWh/m²år. Bruk av behovsstyring bidrar også til å skape et ``grønt image`` for bygget. Ved installasjon er det viktig å fokusere på god plassering av givere, samt riktig kopling og oppsett i SD-anlegg. Vi anbefaler et system hvor luftmengden reguleres etter CO₂-nivået, temperatur og tilstedeværelse av personer. Dette er nøyere forklart i kapittel 2.1.1 under behovsstyring. I kontorer kan komfort være et fast nivå som er styrt av tilstedeværelse, eventuelt med modulerende temperaturstyring i tillegg. I små møterom bør en ha tilstedeværelsesstyring i bunn, med temperaturstyring på toppen. Denne kan suppleres med CO₂-styring om ønskelig. I store møterom bør det styres modulerende på temperatur og CO₂ mellom minimum og maksimum (Harsem – Norconsult, u.å.).

Ventilasjonskostnader er typisk $10 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 150 \text{ kr}/\text{m}^3 = 1500 \text{ kr}/\text{m}^2$. For et cellekontor på 10 m² vil dette innebære en kostnad på 15000 kr. Ved å ta i bruk behovsstyring vil man få en tilleggskostnad på 5000 kr per cellekontor, altså 500 kr/m². Dette vil også medføre et tillegg i vedlikeholdskostnader per år som innebærer 1 % av totalkostnadene ventilasjon 20 kr/m² for trinnløs styring og 1 % av totalkostnadene ventilasjon 2 kr/m² for trinnstyring. Ved bruk av behovsstyring får man derimot en 20 % reduksjon i investeringskostnader som følge av

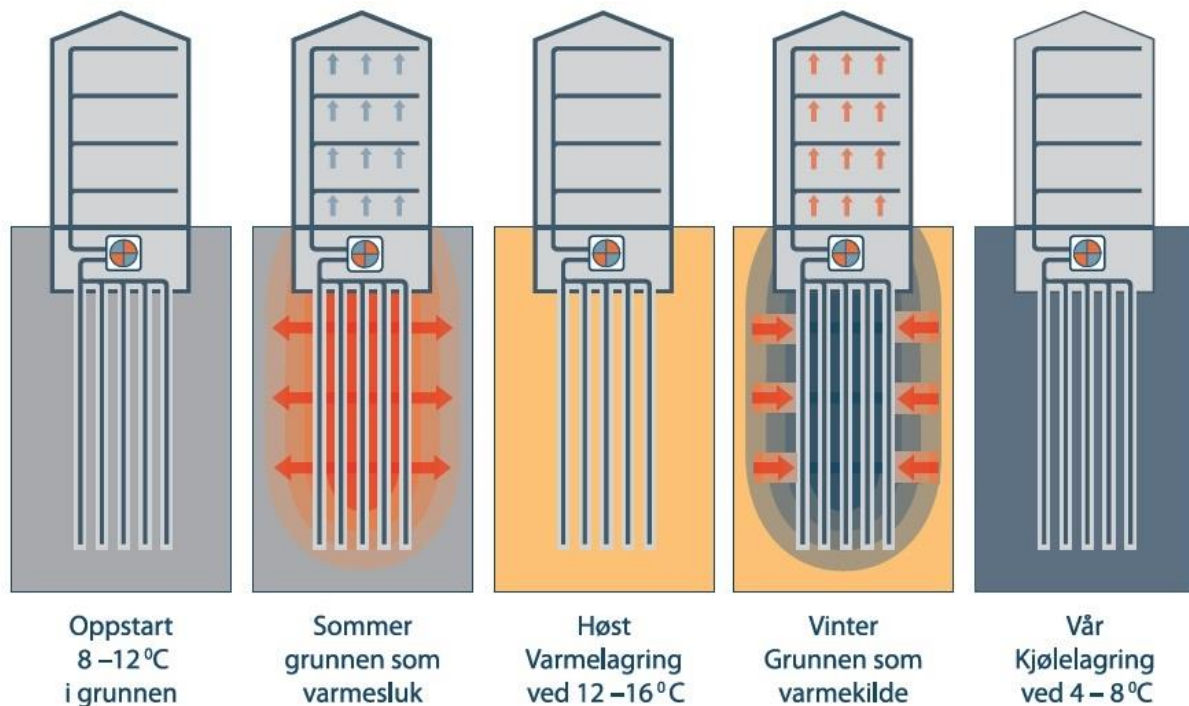
mindre total ventilasjon. Man får også, som nevnt i avsnitt over, redusert årlige energiutgifter med 30-40 kWh/m². Antar her 1 kr/kWh og får en besparelse på 30-40 kr/m² (Harsem – Norconsult, u.å.). Ut fra dette kan man utføre et grovestimat for hvor lang tid det vil ta før man har tjent inn igjen utgiftene for behovsstyring. Gitt en kostnad på 500 kr/m² og en årlig energibesparelse på 30-40 kr/m² får man en inntjeningstid på $\frac{500 \text{ kr/m}^2}{30-40 \text{ kr/m}^2} \cong 12,5 - 17$ år. Tar man derimot i betraktning de økte vedlikeholdskostnadene vil inntjeningstiden øke betraktelig. Beregninger utført av Norconsult viser at man først etter 60 år vil oppnå en fortjeneste sammenlignet med konvensjonelle systemer uten behovsstyring (Harsem – Norconsult, u.å.). Økonomisk sett vil derfor ikke et anlegg med behovsstyring kunne rettferdiggjøres. Behovsstyrt ventilasjon er derimot svært energisparende, og gir i de fleste tilfeller et inn klima med behagelig og god komfort. Vi vurderer det derfor slik at energisparing og godt inn klima er grunnlag nok for å velge behovsstyrt ventilasjon.

Endelig forslag til tiltak for ventilasjon, ut i fra den informasjonen som er innhentet i kapittel 2.1.1, er altså et balansert ventilasjonssystem med varmegjenvinning og behovsstyring.

5.2 Tekniske tiltak – Varmepumpe og borehull

Som løsning for oppvarming og kjøling anbefaler vi at det tas i bruk varmpumpe med energibrønn (borehull) som varmekilde. Det kommer frem i kapittel 2.1.2 at varmpumpeteknologien inngår i EUs fornybardirektiv og betraktes som en fornybar energikilde. Videre i kapittelet forklares det også at varmpumpen bidrar til å redusere den energibruken som er nødvendig for å dekke oppvarmingsbehovet. Type varmpumpe som må tas i bruk er en vann/vann varmpumpe, også kalt bergvarmpumpe. Denne typen varmpumpe er nøyere beskrevet i kapittel 2.1.2 under varmpumpeteknologi.

Vi anbefaler bruk av energibrønn som varmekilde ettersom dette gir en stabil temperatur. Fordelene ved bruk av energibrønn overgår de høye investeringskostnadene. De gir, som forklart i kapittel 2.1.2, høye virkningsgrader, stabil drift av varmpumpe, lang levetid, høy dekningsgrad og stabile arbeidsbetingelser. De krever også mindre vedlikehold og kan levere frikjøling på sommeren (se kapittel 2.1.2 for nøyere forklaring). Ved bruk av et slikt anlegg kan 24/7-bygget lagre eventuell overskuddsenergi fra sommer til vinter, samt minimere den totale energibruken. Måten dette gjøres på illustreres i figuren under.



Figur 40 Sammenheng mellom varmepumpe og borehull

5.2.1 Borehull

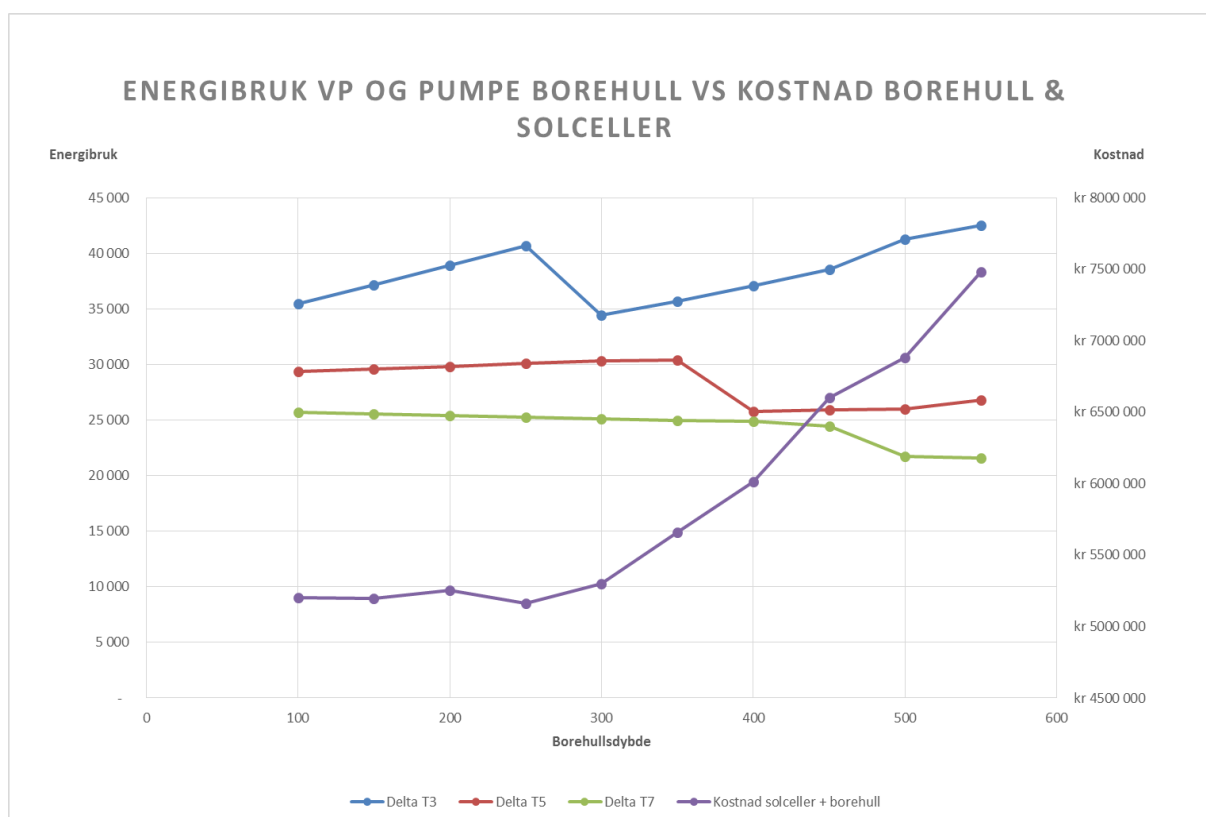
For løsmassesjikt over 15 meter vil en 500 meters energibrønn være det mest økonomisk gunstige alternativet (se kapittel 2.1.2). For en løsmassetykkelse mellom 0 og 15 meter vil 6x100 meters hull og en enkel varmepumpe være økonomisk gunstig, gitt at det finnes friarealer store nok til å bore flere energibrønner med innbyrdes avstand mer enn 30 meter.

For å undersøke hva som er gunstig for 24/7-bygget må man kartlegge grunnen hvor bygget skal oppføres. Andre forhold og faktorer som må vurderes er nøyere forklart i kapittel 2.1.2 under energibrønn. For å få et bedre innblikk i aktuelle grunnforhold kan man hente informasjon fra nærliggende brønner i området. Ved å ta i bruk den nasjonale grunnvannsbasen Granada finner man to nærliggende brønner i området hvor 24/7-bygget skal oppføres (se vedlegg 1). Konklusjonen man kan trekke fra disse brønnene er at det er mindre enn 5 meter til berggrunnen med en vannføring på 3 m³/h ved ca. 80 meter og 0,25 m³/h ved ca. 120 meter. Ved bruk av den nasjonale berggrunnsdatabasen ser man at berggrunnen på tomten hovedsakelig består av Grønnstein og Amfibiolitt, disse er begge omdannede bergarter. Som følge av den relativt lave grunnvannsføringen (3 m³/h) og ellers ugunstige forhold for åpne grunnvannssystemer er det mest aktuelt med et lukket system.

Når det gjelder grunnvannstemperaturen så ligger denne i gjennomsnitt på ca. 7 °C ved 15 meters dyp. Temperaturgradienten i grunnen er ca. 1 °C/100 m dyp, det vil si at den ved 200 meter er på ca. 5-7 °C og ved 500 meter ca. 10-12 °C². Ofte er det ønskelig med høyere temperaturer, som ved 500 meters borehull. Det er derimot usikkert hvor stor grunnvannsstrømningen vil være ved 500 meter, noe som er avgjørende for effektiviteten. Varmeopptaket i kollektorslangen vil reduseres drastisk ved lav strømningshastighet og lite grunnvann.

I kapittel 2.1.2 forklares det at man, for å komme frem til den ideelle dybden på borehullene, må ta i betraktning de temperaturdifferansene man oppnår ved ulike dybder. Også pumpeenergi, vannmengde og kostnader må vurderes. Det er ønskelig å oppnå høyest mulig temperatur, noe som igjen krever dypere hull. Det er derimot viktig å være bevisst at dypere hull også krever mer pumpeenergi. Målet bør derfor være å finne den ideelle dybden hvor varmepumpens virkningsgrad ikke påvirkes negativt av den nødvendige pumpeenergien. I forbindelse med 24/7 prosjektet har ETA Energi AS utført detaljerte beregninger for å komme frem til en best mulig løsning for borehull for dette spesifikke bygget. Her er maks effekt varme i bygg satt til 120 kW og maks effekt kjøling satt til 70 kW. Det benyttes også 30W/m som dimensjonering for antall borehull, i kapittel 2.1.2 kom det frem at varmeopptak vanligvis ligger mellom 20-80 W/m. Se vedlegg 2 for mer utfyllende informasjon og konkrete beregninger. Dette er oppsummert i følgende figur:

² Kari-Marie Høyvik Holmstøm, Siv.Ing Energi ved ETA Energi AS. E-post 09.04-2015.



Figur 41 Graf energibruk varmepumpe og kostnad

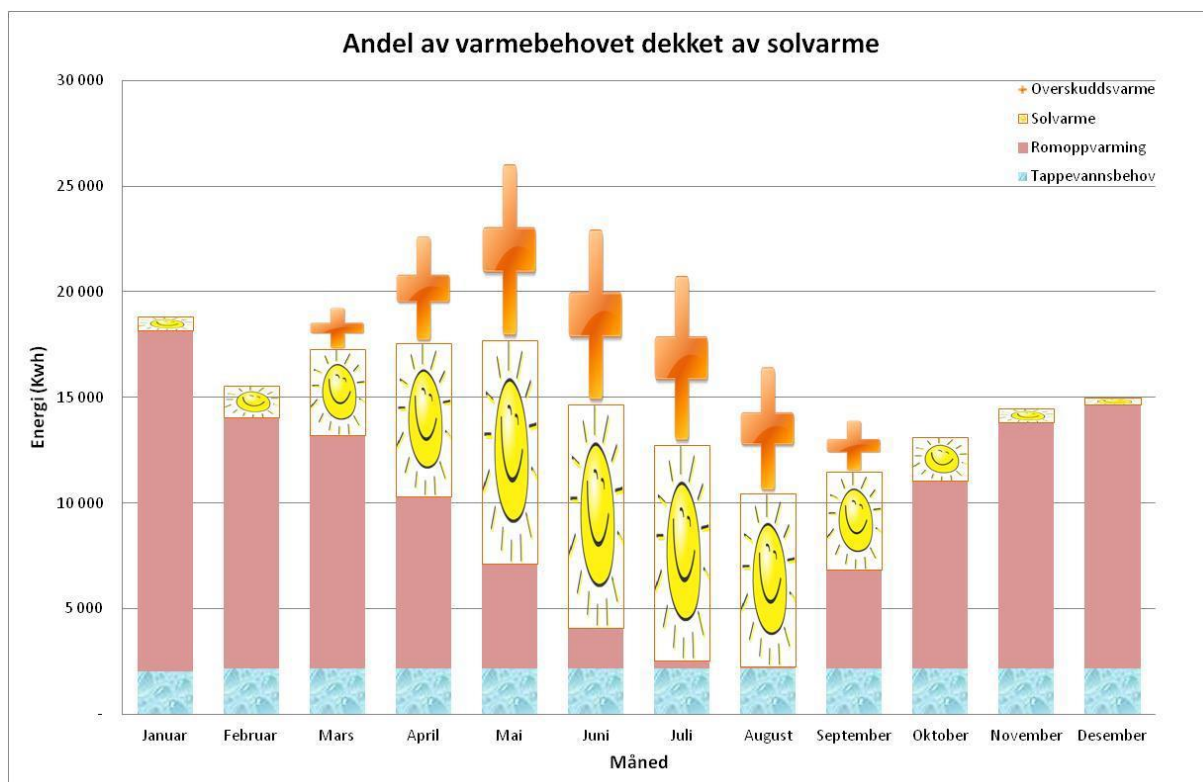
I figuren over ser man energibruk gitt i kWh og kostnad gitt i kroner på y-aksene. Den lille kurven hører til høyre y-akse, mens de andre tre kurvene hører til venstre y-akse. Langs x-aksen finner man dybde borehull oppgitt i meter. De ulike kurvene viser henholdsvis en temperaturdifferanse på 3, 5 og 7 °C (blå, rød og grønn kurve). Den lille kurven viser kostnaden tilknyttet ulike dybder på borehullet. Her har man sammenlignet den energibruken som går til varmepumpe og borehullspumpe opp mot de samlede kostnadene for installasjon av borehull og solcelle. Av figuren ser vi at en temperaturdifferanse på 3 °C (blå kurve) gir stor vannmengde per borehull. Her vil nødvendig energi til sirkulasjonspumpe kanskje eliminere gevinsten av økt virkningsgrad på varmepumpe som følge av dypere hull og høyere borehullstemperatur. Ved en dybde på over 300 meter (x-aksen) og delta T= 3 °C (fra 8 til 5 °C) kan bruk av glykol utgå og man kan benytte rent vann. Ved en temperaturdifferanse på 5 °C (rød kurve) vil ikke pumpeenergien få så store utslag, men man vil fortsatt få en negativ effekt. Ved en dybde på 400 meter og delta T= 5 °C (fra 10 til 5 °C) kan glykol utgå. Ved en temperaturdifferanse på 7 °C (grønn kurve) vil ikke pumpeenergien gi en negativ effekt, den eliminerer altså ikke den økte virkningsgraden til varmepumpen.

Av kurven kan vi se at kostnadene begynner å stige ved borehull på 300 meter og blir stadig større jo dypere hull man har. Det ideelle området for borehullene vil dermed ligge mellom 250-300 dybdemeter med en delta T på 7 °C. En kan derimot aldri være helt sikker når det gjelder temperaturen i borehullet og bør derfor dimensjonere pumpen slik at den også kan levere tilstrekkelig mengde ved en delta T på 5 °C.

På basis av dette anbefaler vi at det tas i bruk 14-16 stk. borehull med dybde 250-300 meter. Anbefaler en avstand mellom borehull på 10 meter. Størrelsesmessig vil dette tillate at man får plassert alle borehull direkte under bygget. Basert på mottatte budsjettpriser og tilbud vil pris per dybdemeter ligge i intervallet 315-345 kr. Her inkluderes kostnader til boring, installasjon av samlingssystem, brønnbeskyttelse, samleikum og installasjon av nødvendig rør med bend. Hver brønn vil dermed koste ca. 80000-100000 + mva. Den totale prisen på brønnparken er estimert til å være mellom 1.280000-1.400000 kr + mva og eventuelle risikotillegg.

5.3 Tekniske tiltak – Solfanger

Solfangere kan egne seg godt som bruk til oppvarming av tappevann og til romoppvarming i 24/7-bygget. I kapittel 2.1.3 påpekes det at man ved å ta i bruk et solfangersystem kan komplementere andre energikilder som for eksempel varmepumpen. Solfangere kan enkelt kobles sammen med denne. Ved å kombinere varmepumpe- og solfangeranlegget får man mer effektive og holdbare systemer. Her kreves det kun energi til drift av sirkulasjonspumpen som frakter energi fra solfangeren, resten er gevinst. Ved å kombinere systemene oppnår man en høy virkningsgrad på anlegget ettersom man kan bruke solvarme til å varme opp borehullet om sommeren. Gjennom automatikk styres energien fra solfangersystemet videre til varmepumpeakkumulatoren for at denne skal oppnå ønsket temperatur. Deretter blir varmen fra solfangeren vekslet over til kollektoren slik at borehullet blir varmt. På denne måten lagres solenergien. Solfangere bidrar også til å øke livslengden og ytelsen på varmepumpen ved å redusere driftstiden. Ved å samkjøre disse systemene kan man utnytte solenergi i 24/7-bygget hele året (cTc Ferrofil, u.å.).



Figur 42 Andel varmebehov dekket av solvarme

I figuren over ser vi hvor stor andel av varmebehovet i et bygg som kan dekket av solvarme i de ulike månedene av året. De røde og blå søylene viser hvor mye av varmebehovet til romoppvarming og tappevann som må dekket på en annen måte. Plusstegnene indikerer overskuddsvarme og viser at dette er noe man oppnår i de månedene hvor varmebehovet (rosa kurve) er minst, altså vår og sommer. Ved å ta i bruk en metode for lagring av denne energien (kombinasjonssystem, se avsnitt over) kan man oppnå en betraktelig mer effektiv utnyttelse av solvarmen.

Skal man ta i bruk kombinasjonssystem krever dette nøye beregninger og dimensjonering. Det er viktig å oppnå rett kombinasjon, effekt og modell for hvert spesifikt anlegg. Vi anbefaler likevel bruk av et slikt anlegg i 24/7-bygget, da samspillet mellom varmepumpe og solfanger gir mulighet til kjøling, billig energi, redusert kostnad til borehull og forbedret arbeidsforhold for varmepumpen.

Tilgjengelig takareal for 24/7-bygget er rundt 600 m². La oss nå vise et grovestimat for et anlegg med 220 m² solfangere:

Solvarme per år	50 000 kWh
-----------------	------------

Andel tappevann dekket	20 500 kWh (ca. 20 %)
Andel romoppvarming dekket	16 500 kWh (ca. 20 %)
Totalt varmebehov 24/7 bygget	92 300 kWh
Total andel dekket av solvarme	37 000 kWh (40 %)

Tabell 9 Grovestimat for solfanger anlegg

37 000 kWh/år spart kan videre gi 370 000 kr ekstra i støtte fra Enova (8 til 10 kr/kWh). Ved å ta i bruk solfangere kan man øke fornybarandelen fra 60 til 90 %. Potensialet for å motta støtte fra Enova til 24/7-bygget vil øke ved å installere solfangere ettersom dette gir høyere fornybarandel. Dette vil også kunne dekke opptil 40 % av det totale varmebehovet til 24/7-bygget. Se vedlegg 4 for utfyllende informasjon og beregninger.

Dersom det i stedet for solfangere er ønskelig å dekke mesteparten av takarealet med solceller kan man likevel implementere solfangerne som en del av landskapet i takhagen. Da det er viktig for 24/7-bygget å danne et ``grønt image`` vil solfangere som en del av et grønt tak kunne bidra sterkt til dette. Det er også ønskelig for skaperne bak 24/7-bygget at dette skal fungere som et forbilde-bygg med god tilknytning til høyskole. Ved å kombinere takhagen med solfangere blir ikke dette bare estetisk fint, men fungerer også som en god arena for å vise frem fornybare energikilder til lærevillige studenter.

5.4 Tekniske tiltak – Solceller

For at 24/7-bygget skal kunne oppnå ambisjon om å bli et nullenergibygget må det produseres elektrisitet lokalt ved bruk av fornybare energikilder. I kapittel 2.1.3 under overskriften ``solceller`` påpekes det at solceller er den beste teknologien for en slik lokal produksjon av elektrisitet. Det påpekes også at solceller har en rekke andre fordeler som lave drifts- og vedlikeholdskostnader, lang levetid, god driftssikkerhet, ingen bevegelige deler og ingen støy. Vi anbefaler derfor at det tas i bruk solceller til produksjon av elektrisitet i 24/7-bygget.

Som det står beskrevet i kapittel 2.1.3 innebærer det en del kostnader ved installasjon av et slikt anlegg. Det står også beskrevet at markedet for solceller i Norge er redusert sammenlignet med andre Europeiske land. Motivasjonen for solcellesystemer i Norge vil derfor hovedsakelig være knyttet til et ønske om å oppnå mer energieffektive bygg, noe som nettopp er tilfelle for 24/7-bygget.

I kapittel 2.1.3 står det beskrevet en rekke faktorer som kan ha innvirkning på produksjonen av et anlegg som temperatur, vinkel og orientering i forhold til sola, solinnstråling, vind og snø. Det påpekes også at den optimale modulvinkelen i Norge ligger på ca. 40 grader. Senere i kapittelet ble det også tatt i bruk et beregningsprogram for generert elektrisitet fra solceller med en gitt effekt på 135 kW_p og helningsvinkel 40 grader med lokasjon Haugesund. Denne viste at man ville oppnå en generert elektrisitet på 140 170 kWh per år. Man sammenlignet også dette med et tilfelle hvor man legger solcellene flate, resultatet her ble en 25 % reduksjon i produsert strøm. På bakgrunn av dette anbefaler vi en helningsvinkel på 40 grader rett mot sør som beste alternativ. Helningsvinkelen må videre optimaliseres avhengig av orientering på de ulike delene av taket (vest, øst, nord). Det påpekes i kapittel 2.1.3 at det kan benyttes en mindre vinkel uten nevneverdige produksjonstap. Vi anbefaler at antall moduler, deres plassering, orientering og tilt optimaliseres i forhold til solinnstråling slik at anlegget oppnår høyest mulig energiproduksjon og samtidig ivaretar muligheten for tilstrekkelig snø/skit-avrenning. Vi anbefaler videre at solcelleanlegget utformes med enkle, rektangulære flater, og plasseres inntrukket på takflate for å i best mulig grad unngå skygge fra gesims og samtidig ivareta tilstrekkelig bredde for tilkomst i forbindelse med inspeksjon/vedlikehold av anlegget. Solcelleanlegget bør monteres på tilpassede stativer. Moduler og montasjesystem må dimensjoneres for å tåle lokal snølast og vindtrykk/ vind sug.

Vi anbefaler at vekselretter(e) plasseres i teknisk rom på taket. Anlegget må også utformes slik at strøm som produseres av solcelleanlegget og som ikke benyttes i bygget, leveres ut på det offentlige strømmettet til Haugaland Kraft. Vekselretteren må videre oppfylle alle krav netteier setter i forhold til nettilknytning. Vekselretteren skal dessuten være tilpasset valgt modulteknologi.

Under kapittel 3.3 ble det oppgitt at bygget har et behov for levert energi på 220 500 kWh/år der 91 300 kWh går til teknisk utstyr. Da vi i vår avgrensning 3.2 påpekte at vi ikke skulle ta hensyn til den energien som går til teknisk utstyr velger vi her å vurdere solcelleanlegget opp mot en nødvendig energiproduksjon på 220 500 kWh/år – 91 300 kWh/år = 129 200 kWh/år. Avrundet til 130 000 kWh/år. Det stilles videre et minstekrav til at anlegget skal produsere minimum 75.000 kWh/år levert til bygget og/eller nettet basert på statistiske klimadata i et normalår for Haugesund (breddegrad ca. 59.394739 og lengdegrad ca. 5.304995). Tar man nå i bruk Onyx Solars beregningsprogram Photovoltaic Estimation

med en vinkel på 40 grader, sted Rossabø og ønsket energiproduksjon på 130 000 kWh/år vil den ideelle teoretiske installerte effekten ligge på 125 kW_p .

Som følge av den lave virkningsgraden og økte kostander ved bruk av tynnfilmteknologi, se kapittel 2.1.3 under solcelleteknologier, anbefaler vi at det tas i bruk krystallinske solceller. Videre anbefaler vi at det tas i bruk monokrystallinske solceller ettersom disse gir et lavere tap og høy virkningsgrad, 15-20%. I kapittel 2.1.3 påpekes det også at disse omvandler mer sollys til elektrisitet sammenlignet med multikrystallinske solceller. For å kunne finne det ideelle takarealet som er nødvendig for oppnå en maks installert effekt på 125 kW_p , se avsnitt over, kan man foreta en grovberegning basert på virkningsgrad. La oss si at vi har en solcelle med virkningsgrad på 18 % vil dette, grovt beregnet, tilsvare ca. $\frac{125 \text{ kW}_p}{0,18} \cong 700 \text{ m}^2$.

Ved valg av type solcelle må man vurdere teknisk ytelse, størrelse og pris. La oss nå sammenligne typiske monokrystallinske solceller levert av henholdsvis Sunpower og



Figur 44 Solcelle Sunpower



Figur 43 Solcelle Innotech Solar

Innotech Solar:

Sunpower X20/333 (Sunpower, 2011):

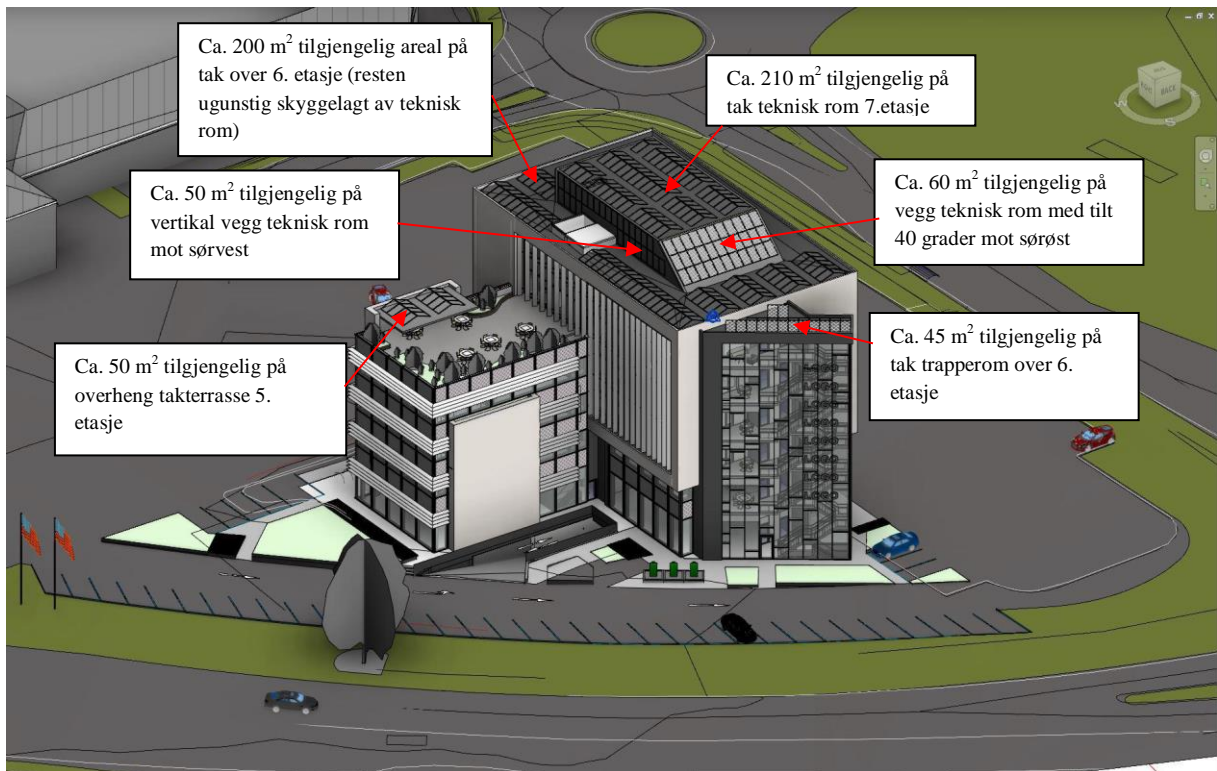
- 1,63 m²
- 333 W_p
- Ca. 204 W/m² (333 W_p/1,63 m²)
- η=20,4 %
- Dette gir ca. 376 stk. = 613 m² basert på teoretisk installert effekt (125 W_p/0,204)

Sunpower X21/345 (Sunpower, 2013):

- 1,63 m²
- 345 W_p
- Ca. 212 W/m² (345 W_p/1,63 m²)
- η=21 %
- Dette gir ca. 365 stk. = 595 m² basert på teoretisk installert effekt (125 W_p/0,21)

Innotech Solar EcoPlus mono 260 (Innotech solar, 2014):

- 1,65 m²
- 260 W_p
- Ca. 158 W/m² (260 W_p/1,65 m²)
- η=15,8 %
- Dette gir ca. 480 stk. = 792 m² basert på teoretisk installert effekt (125 W_p/0,158)



Figur 45 Tilgjengelig takareal 24/7-bygget

La oss nå vurdere dette opp mot tilgjengelig takareal på bygget:

Maks tilgjengelig takareal er altså til sammen 615 m^2 . Ettersom Innotech Solar krever et areal som overgår dette for å oppnå teoretisk installert effekt blir det uaktuelt å ta i bruk denne. Sunpower X20/333 krever et areal på 613 m^2 og kan derfor være aktuell å ta i bruk for dette spesifikke bygget. Men, ettersom denne solcellen ligger rett på grensen for maksimalt areal vil det være bedre å ta i bruk Sunpower X21/345, da denne krever et areal på 595 m^2 . Man bør alltid fokusere på å skape rom for feilmarginer ved estimering av et slikt anlegg. Vi anbefaler derfor å ta i bruk Sunpower X21/345 med virkningsgrad på 21 % for kommersielle bygninger, eller tilsvarende solceller fra andre leverandører.

Forslag til løsning for dette taket:

Tak over 6. etasje:

- Azimuth: 330° (30° øst for sør)
- Tilt: 0° (horisontal plassering)
- $200 \text{ m}^2 \times 212 \text{ W/m}^2 \approx 42 \text{ kW}_p$

Tak trappetårn:

- Azimuth: 35° (35° vest for sør)
- Tilt: 0° (horisontal plassering)
- $45 \text{ m}^2 \times 212 \text{ W/m}^2 \approx 9,5 \text{ kW}_p$

Tak teknisk rom:

- Azimuth: 330° (30° øst for sør)
- Tilt: 0° (horisontal plassering)
- $210 \text{ m}^2 \times 212 \text{ W/m}^2 \approx 44,5 \text{ kW}_p$

Takoverheng 5. etasje:

- Azimuth: 330° (30° øst for sør)
- Tilt: 0° (horisontal plassering)
- $50 \text{ m}^2 \times 212 \text{ W/m}^2 \approx 11 \text{ kW}_p$

Vegg teknisk rom:

- Tilt: 40° mot Sør-Øst
- $60 \text{ m}^2 \times 212 \text{ W/m}^2 \approx 13 \text{ kW}_p$

Vertikal vegg teknisk rom

- Tilt: 90°
- $50 \text{ m}^2 \times 212 \text{ W/m}^2 \approx 11 \text{ kW}_p$

Sammenlagt gir dette et anlegg på totalt 615 m^2 og med en samlet installert effekt på 131 kW_p . Her har man altså utnyttet all tilgjengelig takareal og oppnådd en høyere installert effekt enn teoretisk nødvendig. Dette vil igjen medføre økte kostnader, men vil være nødvendig skal 24/7-bygget oppnå en ambisjon om å bli et nullenergibygg. Det er ønskelig fra byggherrenes side at bygget skal kunne produsere store deler av sin egen elektrisitet. Et annet alternativ kunne vært å redusere antall solceller på tak og heller tatt i bruk bygningsintegreerte solceller. Dette diskuteres videre i kapittel 6.0.

Endelig tiltak for solceller er altså et anlegg på 615 m² (fullt utnyttet takareal) med Sunpower X21/345 moduler. Kostnader for installasjon og drift av anlegg vil variere ut fra leverandør og produsent. Kostnaden for 373 stykk (615 m²) Sunpower X21/345 ligger på ca. kr. 4000-6000 per modul som igjen vil tilsvare ca. kr. 1 492 000-2 238 000 pluss installasjonskostnader. Tilbud må sendes ut og vurderes før endelig valg av anlegg foretas.

5.5 Byggetekniske tiltak – Isolasjon

I henhold til TEK 10 er minstekravet for U-verdi i yttervegger satt til 0,22 W/m²k, U-verdi for gulv satt til 0,18 W/m²k og U-verdi for tak satt til 0,18 W/m²k (se tabell 10 i kapittel 5.6 under). For å bestemme nødvendig U-verdi og type isolasjon har vi tatt i bruk SIMIEN for å vurdere 24/7-bygget opp mot TEK 10 og NS 3701. Resultatet av dette er oppsummert i tabell 10 (tekniske tiltak er ikke blitt medberegnet her).

	Input	Krav i byggeforskriftene		24/7-bygget	
		TEK10	NS3701:2012 Passiv/ lavenergibygg	TEK 10	NS3701
Arealer	Oppvarmet BRA (m ²)			4 858	4 858
	Areal glass/vindu/dører			1 215	1 215
Minstekrav §14-5 (Energitiltak §14-3)	U-verdier (W/m ² K):				
	Yttervegger	≤ 0,22	0,22	0,22	0,17
	Tak	≤ 0,18	0,18	0,18	0,18
	Gulv	≤ 0,18	0,18	0,18	0,18
	Glass/ vinduer/ dører	≤ 1,6	0,8	0,95	0,80
	Varmetapstall for glass/vindu/dører	≤ 0,24	0,24	0,24	0,20
	Lekkasjetall ved 50 Pa (oms/h)	≤ 3,0	0,6	3,00	0,60
Energitiltak §14-3	Normalisert kuldebroverdi (W/m ² K)	0,06	0,03	0,12	0,03
	Totalt varmetapstall	0,44	0,4	0,50	0,40
	Årsmidlere virkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon (%)	80	80	80,00	80,00
	SPF-faktor (kW/m ³ /s)	2	1,5	1,94	1,50
	Andel glass/vindu/dører av BRA	20 %		25 %	25,0 %
Standardverdier inndata NS3031:2007	Effekt belysning (W/m ² gj.snitt driftstid)	8		8,00	4,00
	Effekt utstyr (W/m ² gj.snitt driftstid)	11		11,00	6,00
	Varmeavgivelse fra personer W/m ²	4		4,00	4,00
	Ventilasjon (m ³ /hm ² gj.snitt driftstid)	7		7,00	7,00
Energiforsyning	Systemvirkningsgrad oppvarming			1,49	1,51
	Systemeffektfaktor kjøling			2,40	2,40
	Tot. energibehov (kWh)			724 328	351 510
NS3701:2012	Netto oppvarmingsbehov (kWh/m ²)		20	54,00	19,00
	Netto kjølebehov (kWh/m ²)		4,5	9,40	3,10
	Andel av varmebehovet som dekkes av fornybar energi	60 %	60% (Enova 65%)	61 %	65,1 %
	Gjennomsnittlig effektbehov belysning (W/m ²)		4	25,10	4,00
Energiramme §14-4	Netto spesifikt energibehov (kWh/m ²)	150		149,10	72,36

Tabell 10 Resultat av energiberegninger i SIMIEN.

Ut i fra tabellen over ser man at totalt nødvendig varmetapstall er satt til 0,4, mens den for 24/7-bygget ligger på 0,5. For å redusere varmetapstallet vil det derfor være nødvendig å redusere U-verdien for ytterveggene utover minstekravene i TEK 10. For å møte krav til totalt varmetapstall må U-verdien for yttervegger ned i 0,17 W/m²k. Eventuelt må vindusareal reduseres og/eller mer isolasjon benyttes i gulv/tak for at bygningens energiytelse skal forbedres og danne grunnlag for mer støtte fra Enova.

I kapittel 2.2.3 ble det foretatt en gjennomgang av forskjellige isolasjonsmaterialer. Ut fra denne informasjonen kom det frem at dersom en kun tar hensyn til termisk konduktivitet er vakuumisolasjon en klar vinner. Kostnadene vil derimot bli store, spesielt for et så stort bygg som 24/7-bygget. For å sette ting mer i perspektiv er prisen på 1m² mineralull ca. kr 160,

mens prisen for 1 m² med vakuumpaneler er ca. kr 1600 (Grynning og Jelle, 2009). Som det fremkommer i kapittel 2.2.3 kan ikke vakuumpaneler tilpasses på byggeplassen og de er sårbare ved montering og under transport. Vi mener på bakgrunn av dette og det økonomiske aspektet at det ikke vil kunne forsvares med bruk av vakuumisolasjonspaneler i hele bygget, men at denne typen isolasjon heller egner seg til isolering av teknisk utstyr, varmtvannstank, pumpe, rør eller lignende.

Til isolering av vegger og tak vil vi anbefale mineralull som isolasjonsmateriale, ettersom det er store areal som skal isoleres. Mineralull gir også lave kostnader (160 kr per m²), enkel transport og montering. Til isolering av gulv kan det benyttes mineralull eller kork som underlag og til isolering av bjelkelag. Som det kommer frem i kapittel 2.2.3 vil kork bidra til demping som videre kan redusere sykefravær.

Til isolering rundt vinduskarmen bør det brukes polyuretan. Dette er et motstandsdyktig og fleksibelt materiale. 24/7-byggets bindingsverk vil hovedsakelig bestå av tre. Som de fleste andre materialer ekspanderer og trekker tre seg inn ved temperaturendringer. Det er derfor viktig at isolasjonsmaterialet er fleksibelt.

Etttersom stivt polyuretanskum ikke absorberer fuktighet bør dette brukes som isolasjonsmateriale mot grunnen. Se under polyuretan i kapittel 2.2.3 for ytterligere informasjon.

5.6 Byggetekniske tiltak – Vindu

For å komme frem til det beste alternativet for vinduer i forhold til 24/7-bygget må man vurdere U-verdier opp mot de kravene som er satt i byggeforskriften TEK 10 og passivhusstandard NS 3701. For ytterligere informasjon om disse henvises det til kapittel 1.5 i oppgaven. For vurdering av U-verdier opp mot krav, har man benyttet beregningsprogrammet SIMIEN, resultatet av energiberegningene er presentert i tabell 10 i kapittel 5.5. Tabellen under viser kjøring av minstekravene til TEK 10:

Minstekrav (§14-5)	
Beskrivelse	Krav
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,22
U-verdi tak [W/m ² K]	0,18
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m ² K]	0,18
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]	1,60
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	3,00
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,24

Tabell 11: Minstekrav satt etter TEK 10.

Som man ser her, er minstekravet til varmetapstall satt til 0,24. Andel vinduer i 24/7-bygget er satt til 1215 m² av totalt 4858 m², altså 25 % av bygget. Varmetapstall kan beregnes ved å multiplisere U-verdien med % andel av vindu/glass/dører. For å finne nødvendig U-verdi for å oppfylle kravene i TEK 10 kan man snu denne formelen ved at man dividerer krav til varmetapstall med % andel vindu/glass/dører. Dette gir en U-verdi = $0,24/0,25 = 0,95$ W/m²k. U-verdien for glass/vindu/dører må altså ned i 0,95 W/m²k for å møte krav til varmetapstall i § 14-5 i TEK 10.

Tabell 7 i kapittel 4.0 viser en vurdering av 24/7-bygget opp mot NS 3701. Minstekravet til vinduer er her satt til 0,8 W/m²k. For å møte kravene i passivhusstandarden må altså 24/7-bygget ta i bruk vinduer/glass/dører med en U-verdi på 0,8 W/m²k. Dette vil igjen medføre at andel vinduer må økes. Ettersom kravet til varmetapstall fortsatt er satt til 0,24 vil en U-verdi på 0,8 W/m²k kreve en vindusandel på $0,8/0,24 = 0,3 = 30\% = 1458$ m².

I kapittel 2.2.4 kommer det frem at et passivhus må ha vinduer med tre eller fire lag med glass. Ettersom 24/7-bygget skal være et nullenergihus, som har strengere rammebetingelser enn passivhus, anbefaler vi bruk av vinduer med tre lags glass.

Vinduet	U-verdi
Enkelt glass	5,0
Tolags glass med luft	1,6
Tolags glass med argongass	1,4
Trelags glass med argongass	0,7-0,9

Tabell 12 U-verdi for ulike typer vinduer

Tabellen over viser U-verdi for vindu med enkelt glass, tolags glass med luft, tolags glass med argongass og trelags glass med argongass. Om en benytter trelags vindu med argongass og

isolert ramme vil en oppnå en U-verdi på 0,7-0,9 (Enova, u.å.). Vi ser derfor ikke på det som en nødvendighet med firelags vinduer, da trelags glass med argongass oppfyller minstekravet i henhold til både TEK 10 og NS 3701. En kan redusere U-verdien ytterligere ved å ta i bruk firelags vinduer, men lystransmisjonen vil også bli redusert, dette er ikke ønskelig. Det kom frem under avsnittet om fremtidens vinduer i kapittel 2.2.4 at mer dagslys resultere i bedre velvære og arbeidsmiljø for de ansatte.

Huleromstykkelsen bør være på 17 – 18 mm ved bruk av argon. Se graf ``U-verdi for trelags vinduer`` i kapittel 2.2.4 for nøyere forklaring.

Når det gjelder plassering av vinduer bør de, som forklart i kapittel 2.2.4, installeres et stykke inn i isolasjonssjiktet for å redusere virkningen av kuldebroer.

Avhengig av valgt bredde og høyde på vinduene varierer kostnadene for trelags glass. Vanligvis ligger kostnadene mellom 4300 kroner for de minste modulene og 14000 kroner for de største. Sammenlignet med tolags glass vil man ved bruk av trelags glass kunne oppnå en årlig energibesparelse på 180 kroner per kvadratmeter, dette vil igjen utjevne de økte kostnadene (Enova, u.å.).

Endelig tiltak er altså bruk av trelagsglass med argongass, der vindusandelen utgjør 30 % av fasaden til bygget.

5.7 Byggetekniske tiltak – Grønne tak

Da det allerede er planlagt at 24/7-bygget skal ha en takhage på 250 m², anbefaler vi at denne også fungerer som et grønt tak. Man bør også vurdere å bruke sedumtak på hovedbygget (0,16 W/m²K) og ekstensivt tak på glassbygget (0,15 W/m²K).

Som beskrevet i kapittel 2.2.5 har grønne tak en relativt liten energigevinst, men mange andre fordeler som kan bidra til å gi 24/7-bygget et ``grønt image``. Grønne tak har, som nevnt i kapittel 2.2.5, en lyddempende effekt og gir et bedre grunnlag for solfangere. De reduserer også belastningen på vann og avløpssystem og synliggjør byggets miljøansvar. Ved å ta i bruk grønne tak kan 24/7-bygget, som tidligere forklart, redusere netto utslipp av CO₂ med opptil 5 kg/m²/år, samt skape trivsel og hyggelig utemiljø for de ansatte som jobber der.

5.8 Byggetekniske tiltak – Belysning

Som det fremstår i kapittel 2.2.6 er LED-belysning en klar vinner når det gjelder både levetid og lønnsomhet.

Når vi regner på kostnader for LED downlights i 24/7-bygget har vi tatt utgangspunkt i 1,5 downlights pr. kvadratmeter. Videre har vi valgt en 5 watts LED-pære, som tilsvarer samme lysstyrke som en 50 watts halogenpære.

Vi ser på det totale arealet for kjeller, garasje og oppholdsrom og får en sum på 7339,1 m².

Antall nødvendig downlights blir da:

$$7339,1 \text{ m}^2 : 1,5 \approx 4800 \text{ stk}$$

Pris for 1 stk. 5 W LED downlight er ca. kr 700 (Belysning1, u.å.). Den totale prisen blir da:

$$4800 \text{ stk} \times \text{kr } 700 = \text{kr } 3\,360\,000$$

Pris for 1 stk. 50 W halogen downlight er ca. kr 200 (Elby, u.å.). Den totale prisen blir da:

$$4800 \times \text{kr } 200 = \text{kr } 960\,000$$

Dette utgjør en besparelse på kr 2 400 000 ved innkjøp av halogenpærer fremfor LED, men som det kommer frem i kapittel 2.2.6 har halogenpærer kortere levetid enn LED. Levetid for en halogenpære er ca. 2000 timer, mens den for LED er ca. 50 000 timer. En halogenpære må da byttes følgende antall ganger for å oppnå samme levetid:

$$\frac{50\,000}{2000} \text{ timer} = 25 \text{ ganger}$$

De totale kostandene ved bruk av halogen blir dermed:

$$25 \times \text{kr } 960\,000 = \text{kr } 24\,000\,000$$

Bruk av LED vil følgelig gi en besparelse på (total pris for halogen minus total pris for LED):

$$\text{kr } 24\,000\,000 - \text{kr } 3\,360\,000 = \underline{\underline{\text{kr } 20\,640\,000}}$$

5.9 Eksempel på støttenivå Enova

I kapittel 1.4 nevnes det at støtten som gis fra Enova er investeringsstøtte og utgjør mellom 8 og 10 kroner per kWh/år. Dette baserer seg på andel spart energi i forhold til energirammene i TEK 10 og produsert fornybar energi utover minstekrav i TEK 10. Den maksimale støtteandelen er 60 % av godkjente merkostnader for prosjektet. Disse merkostnadene inkluderer prosjektledelse, innkjøp av utstyr, tiltakets prosjektering og detaljplanlegging, samt bygging og installasjon.

Prosjekter som prioriteres har et høyt energiresultat i forhold til omsøkt støtte (kWh/kr). Energiresultatet er summen av netto energibesparelse etter tiltak og ny fornybar energiproduksjon. Bygget skal også være et profilert forbildebygg med stor spredningseffekt hvor byggestart er innen 1 år etter at tilsagn er gitt.

Grovestimat 24/7-bygget:

Kostnad TEK 10 bygg	Kr 100 000 000
10 % merkostnad passivhusstandard	Kr 10 000 000
Årlig energibesparelse	Kr 370 000
Støtte fra Enova 10 kr/kWh	Kr 3 700 000
Merinvestering	Kr 6 300 000

Tabell 13 Grovestimat 24/7-bygget

Grovestimat 24/7-bygget med solfangere:

Kostnad TEK 10 bygg	Kr 100 000 000
10 % merkostnad passivhusstandard	Kr 10 000 000
Kostnad 220 m ² solfangere	Kr 850 000
Årlig energibesparelse	370 000 kWh
Støtte fra Enova 10 kr/kWh	Kr 370 000
Årlig energibesparelse solvarme	37 000 kWh
Støtte fra Enova 10 kr/kWh	Kr 370 000

Merinvestering	Kr 6 780 000
----------------	--------------

Tabell 14 Grovestimat 24/7-bygget med solfangere

Beregningene over er basert på ca. verdier og det vil derfor være stor usikkerhet tilknyttet disse tallene. Som man ser av grovestimatene over er det mulig å motta en del støtte på basis av at man prioriterer energieffektivitet. Dette er en viktig faktor å ta i betraktning ved endelig valg av tiltak. Det vil derfor videre være nødvendig å foreta en helhetlig vurdering av støttenivå når endelige tilbud og kostnader er på plass.

6.0 Diskusjon

I kapittel 2 ble det gjennomgått en rekke tekniske og byggetekniske tiltak for energieffektivitet. Basert på disse valgte vi så ut de tiltakene vi betraktet som mest relevante for 24/7-bygget i kapittel 5. Det finnes en rekke andre tiltak som kunne vært aktuelle for bygget. I dette kapittelet vil vi derfor diskutere slike andre tiltak.

6.1 Ventilasjon

Et alternativ til balansert ventilasjon kan være bruk av hybrid ventilasjon. Som det ble påpekt i kapittel 2.1.1 reduserer bruk av hybrid ventilasjon energibehovet til bygget uten at det går utover luftkvalitet og termisk komfort. Man flytter også store deler av investeringen fra mekaniske installasjoner til selve bygningskroppen.

For arkitektene av 24/7-bygget vil dette innebære en del endringer som må implementeres i bygget. Dette innebærer bruk av mer avanserte vindus- og fasadeløsninger, større romvolum per person, inntakskulverter i grunnen, avtrekkstårn og solskorsteiner. Dette kan igjen ødelegge den visjonen PDS Protek har satt for bygget i henhold til estetikk. Sammenlignet med et balansert system med varmegjenvinning vil man ikke oppnå den samme energibesparelsen. Skal dette være et alternativ til konvensjonell klimatisering, se kapittel 2.1.1, må det implementeres avanserte styringssystemer som medfører økte kostnader. Kostnadene tilknyttet behovsstyring vil altså være lik for begge systemene. Ettersom ulempene overgår fordelene valgte vi å ikke anbefale dette som metode for ventilasjon, men det kan være et alternativ dersom kostnadene for det balanserte systemet overgår kostnadene for hybrid ventilasjon. Ettersom kostnadene for hybrid ventilasjon er svært avhengig av hvordan anlegget designes er det vanskelig å gi en estimert verdi for dette. Men basert på informasjon fra tidligere utførte prosjekter kan man si at kostnaden for en slik løsning ligger på mellom 380 000 – 420 000 kroner med utskiftningskostnader på ca. 130 000 – 150 000 kroner (Mathisen, 2004).

Et annet alternativ for ventilasjon i 24/7-bygget kan være bruk av nattventilasjon i kombinasjon med et termisk aktivt bygningssystem. Det nevnes i kapittel 2.1.1 at nattventilasjon egner seg godt i kontorbygg ettersom disse ikke er i bruk nattetid. Ved å ta i bruk nattventilasjon kan man redusere energibruken til kjøling med hele 30-50 % ved at temperaturtoppene for neste dag reduseres med 2-4 °C . Denne formen for ventilasjon

benyttes vanligvis sammen med naturlig eller mekanisk ventilasjon. Nattventilasjon kan også kombineres med passiv utnyttelse av termisk masse (TABS). I kapittel 2.1.1 forklares det at man ved bruk av TABS kan lagre overskuddsvarme fra solinnstråling i den termiske massen, denne blir så senere frigjort om natten via nattventilasjon. Dette kan igjen bidra til å redusere svingninger i temperaturer innendørs og forenkler bruken av varmepumpe og solfanger.

Dette innebærer lavere kostnader, men som følge av usikkerhet tilknyttet effektiviteten er mange arkitekter skeptiske til å implementere denne teknikken. Dette er et godt alternativ for ventilasjon, men er knyttet til mye større usikkerhet sammenlignet med balansert ventilasjon. Det kreves ytterligere forskning før dagens arkitekter våger å ta i bruk denne teknikken. Vi valgte derfor å se bort fra denne og heller anbefale et balansert system.

6.2 Varmepumpe

Et annet alternativ her vil være knyttet til hvilke varmekilde som benyttes. I kapittel 5.2 anbefalte vi bruk av energibrønn som varmekilde, men også uteluft er mye brukt. I Kapittel 2.1.2 påpekes det at uteluft har en klar fordel ved at den har stor tilgjengelighet. Det kreves derimot en stor luftstrøm ved varmeopptak, noe som igjen krever installasjon av vifter på varmveksler. Dette vil medføre mer effekt fra strøm. Et krav som stilles til varmepumpe er at varmekilden ikke skal være forurenset eller korrosiv, i et kystklima som Haugesund vil derfor bruk av luft kunne være et problem (luft forurenset av sjøvann). På bakgrunn av dette anbefalte vi heller bruk av energibrønn, men dersom muligheten for korrosiv luft er en risiko byggherrene er villige til å ta, kan dette være et alternativ.

6.3 Solceller

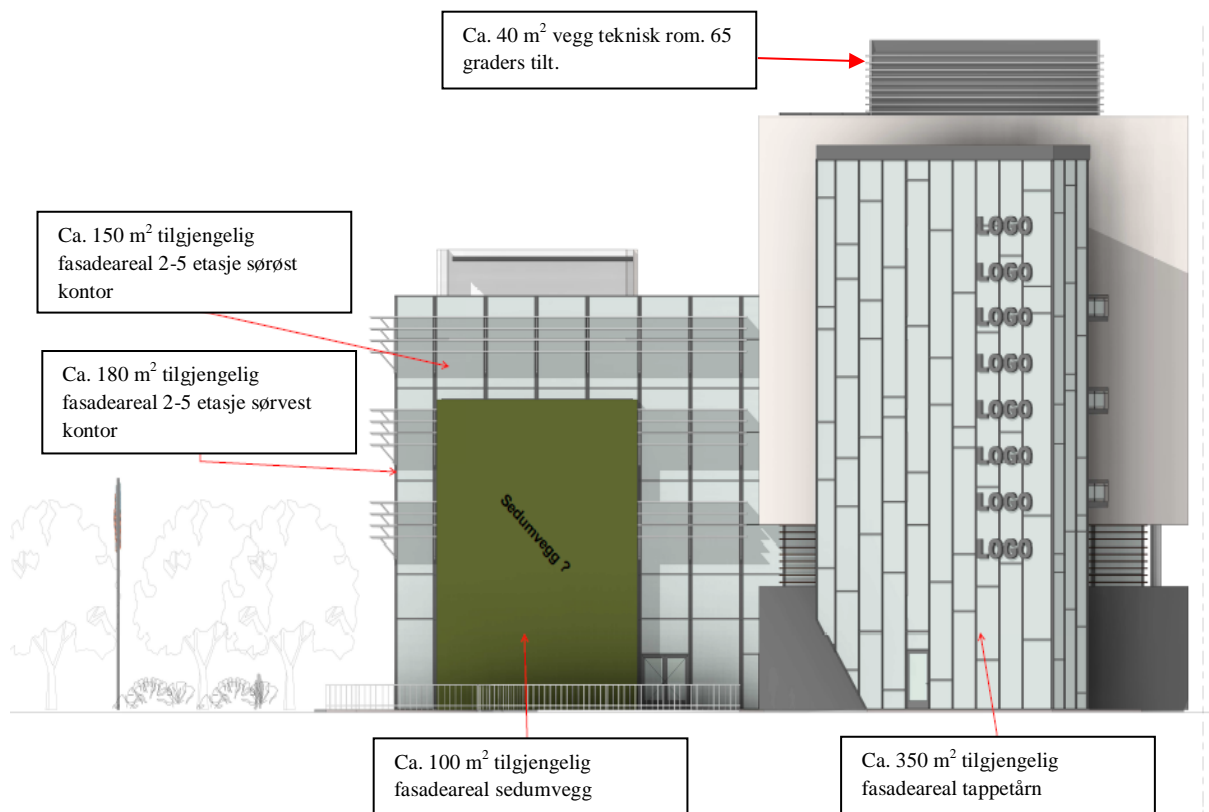
Som følge av 24/7-byggets orientering og utfordring med å få plassert solcellene med optimal tilt uten at de skyggelegger hverandre, kan en mulighet være å også ta i bruk fasadeintegreerte løsninger.

Nødvendig effekt i henhold til reelle forhold:

160-180 kW_p monokrystallinske solceller plassert på tak og vegger som ikke er avhengige av dagslys og 10-15 kW_p fasadeintegreerte tynnfilm-moduler med delvis gjennomsiktighet som erstatning for enkelte kontorvinduer. Dette gir en total installert effekt på ca. 175-190 kW_p.

Bruk av fasadeintegreerte solceller kan altså være nyttig. Disse har ulike grader av gjennomsiktighet og IR-varmestraling. De kan erstatte tradisjonelle fasadeelementer/vinduer og samtidig øke termisk komfort. De utnytter store fasadeareal til å produsere strøm og tar i bruk UV-filer som reduserer belastning på mennesker, møbler og interiør. Isolerte PV-glass enheter kan oppnå samme u-verdi som kommersielle vinduer, det vil si ned til ca. $0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$ og kan derfor erstatte disse.

La oss nå se på tilgjengelig fasadeareal for 24/7-bygget:



Figur 46 Tilgjengelig fasadeareal 24/7-bygget

Til disse integrerte fasadeløsningene kan man for eksempel ta i bruk Sunpower X20/333, se avsnitt 5.4 for mer utfyllende informasjon.

Eksempel løsning alternativ 1, bruk av tynnfilm PV-glass (8-15 kW_p) på fasade sørvest og sørøst kontor, samt bruk av Sunpower E20/333 på sedumvegg, vegg teknisk rom og trappetårn. Grovt beregnet med bruk av Onyx Solars beregningsprogram for å finne verdier i kWh/år:

Fasade sørvest kontor

- Azimuth: 60° (60° vest for sør)
- Tilt: 90° (vertikal plassering)
- 180 m² ≈ 8 kW_p ≈ 5 400 kWh/år

Fasader sørøst kontor

- Azimuth: 330° (30° øst for sør)
- Tilt: 90° (vertikal plassering)
- 150 m² ≈ 7 kW_p ≈ 1 350 kWh/år

Tidl. sedumvegg

- Tilt: 90° (vertikal plassering)
- 100 m² x 204 W/m² ≈ 20 kW_p ≈ 3 850 kWh/år

Vegg teknisk rom

- Tilt: 65° / 40°
- 40 m² x 204 W/m² ≈ 8 kW_p ≈ 2 350/ 3 470 kWh/år

Fasade trappetårn

- Tilt: 90° (vertikal plassering)
- Sørvest - Azimuth: 35° (35° vest for sør)
200 m² x 204 W/m² ≈ 41 kW_p ≈ 31 000 kWh/år
- Sørøst - Azimuth: 305° (55° øst for sør)
60 m² x 204 W/m² ≈ 12 kW_p ≈ 8 300 kWh/år

Totalt gir dette $580 - 630 \text{ m}^2 \approx 76 - 88 \text{ kW}_p \approx 48\,000 - 52\,000 \text{ kWh/år}$

Eksempel løsning alternativ 2, bruk av Sunpower E20/333 på alle fasader (Grovt beregnet med Onyx Solar):

Fasade sørvest kontor

- Azimuth: 60° (60° vest for sør)
- Tilt: 90° (vertikal plassering)
- $90 \text{ m}^2 \times 204 \text{ W/m}^2 \approx 18 \text{ kW}_p \approx 12\,100 \text{ kWh/år}$

Fasader sørøst kontor

- Azimuth: 330° (30° øst for sør)
- Tilt: 90° (vertikal plassering)
- $70 \text{ m}^2 \times 204 \text{ W/m}^2 \approx 14 \text{ kW}_p \approx 2\,700 \text{ kWh/år}$

Tidl. sedumvegg

- Tilt: 90° (vertikal plassering)
- $100 \text{ m}^2 \times 204 \text{ W/m}^2 \approx 20 \text{ kW}_p \approx 3\,850 \text{ kWh/år}$

Vegg teknisk rom:

- Tilt: $65^\circ / 40^\circ$
- $40 \text{ m}^2 \times 204 \text{ W/m}^2 \approx 8 \text{ kW}_p \approx 2\,350 / 3\,470 \text{ kWh/år}$

Fasade trappetårn

- Tilt: 90° (vertikal plassering) Sørvest
- Azimuth: 35° (35° vest for sør)
 $200 \text{ m}^2 \times 204 \text{ W/m}^2 \approx 41 \text{ kW}_p \approx 31\,000 \text{ kWh/år}$ Sørøst
- Azimuth: 305° (55° øst for sør)
 $60 \text{ m}^2 \times 204 \text{ W/m}^2 \approx 12 \text{ kW}_p \approx 8\,300 \text{ kWh/år}$

Totalt gir dette $560 \text{ m}^2 \approx 114 \text{ kW}_p \approx 61\,400 \text{ kWh/år}$. Her kan en eventuelt droppe solceller i etasjeskillene på henholdsvis sørvest og sørøst kontor og fremdeles oppnå ønsket produksjon så lenge en kler sedumveggen isteden. Eventuelt motsatt.

Når det gjelder sørøstlige fasader er disse de minst ideelle av de foreslåtte arealene. Kontor og tidligere sedumvegg i alternativ 1 kan derfor utelukkes hvis ønskelig uten at det påvirker ønsket energiproduksjon for bygget. For å unngå tynnfilm PV-glass med lav virkningsgrad og oppnå en mest mulig teknisk homogen løsning anbefales det å gå for alternativ 2 for fasader. Her kan man enten installere maksimal mulig effekt (ca. 217 kW_p og 652 stykk) eller så kan sedumveggen/kontorfasadene mot sørøst/sørvest tas i bruk på et senere stadium ved behov for mer energi for å gå i null. Det må vurderes om alternative løsninger for solskjerming er nødvendig for å unngå at panelene i etasjeskillene skyggelegges. Kostnaden for 652 stykk Sunpower E20/333 ligger på ca. kr. 4000,- per modul som igjen vil tilsvare ca. kr. 2 600 000,- pluss installasjonskostnader. Dette vil derfor være et alternativ som kan vurderes.

6.4 Vindu og isolasjon

I kapittel 5.5 påpekes det at man i stedet for å redusere U-verdien for yttervegger ned til 0,17 W/m²k heller kan redusere vindusarealet og benytte mer isolasjon i gulv og tak. Dette er derfor et annet alternativ som kan vurderes for 24/7- bygget. Også bruk av andre typer isolasjon en de vi har anbefalt kan være aktuelt.

En annen type isolasjonsmateriale som kunne vært brukt i vegger og tak i forbindelse med 24/7-bygget er cellulose. Som det kommer frem i kapittel 2.2.3 er cellulose et miljøvennlig produkt som består av 80% resirkulert avisepapir. På bakgrunn av dette vil bruk av cellulose kunne bidra til å fremheve 24/7-bygget som et fremtidsrettet bygg med miljø i fokus. Grunnen til at vi ikke har anbefalt cellulose er at det vanligvis er nødvendig med tilsetning av fuktighet for at det skal klistre seg til vegger/tak (se kapittel 2.2.3). Fuktighet i konstruksjonen kan bli sett på som risikabelt ettersom det kan føre til råte- og soppkader. Er derimot byggherrene villige til å ta denne risikoen kan cellulose vært et alternativ.

Et annet alternativ til isolasjon er bruk av gassfylte paneler. Disse har derimot samme ulempe som vakuumisolasjonspaneler. Luft vil etterhvert ta over plassen til gassen (undertrykket vil forsvinne i vakuumisolasjonspaneler), og de er sårbare for punktering – spesielt under byggeperioden hvor det brukes store mengder med skruer/spiker. Man må derfor ta høyde for at noen av disse vil bli punktert og føre til ekstra kostnader. Om det hadde vært et enkelt system for vedlikehold (påfylling av gass/øke undertrykket) og metoder

for sikker montering uten risiko for punktering, kunne GFP eller VIP ha fremstått som mer attraktive alternativer.

Grafene under kapittel 2.2.4 viser at en vil kunne oppnå en u-verdi på ned mot $0,3 \text{ W/m}^2\text{k}$ ved bruk av firelags vinduer, og en u-verdi ned mot $0,5 \text{ W/m}^2\text{k}$ ved bruk av trelags vindu. Som det kommer frem av simuleringen og passivhusstandarden er det satt krav til at vinduer må ha en U-verdi på $0,8 \text{ W/m}^2\text{k}$ eller lavere. Vi argumenterte derfor for at det ikke ville være nødvendig å påkoste seg firelags vindu. En bør også tenke på at et firelags vindu veier mer enn et trelags vindu. Dette medfører økte krav til sikkerhet og utstyr, og dermed også større kostander under byggefasen. Er det derimot ønskelig å oppnå en U-verdi utover kravene i passivhusstandarden kan firelags vindu vurderes som et alternativ i 24/7-bygget.

Et alternativ til vinduer i 24/7-bygget er bruk av vinduer med aerogel. Aerogel produkter er svært kostbare og anvendes først og fremst til forbedring av energiutbyttet fra passiv solvarme og til bedre utnyttelse av dagslys. Med mindre det finnes rom med spesielle krav når det gjelder mengde dagslys, betrakter vi det ikke som nødvendig å ta i bruk vinduer med aerogel. Med et vindusareal på 30% burde ikke mengden dagslys være et problem. Er det derimot ønskelig å oppnå en bedre utnyttelse av dagslys kan dette være et alternativ som bør vurderes.

7.0 Konklusjon

Etter de vurderingene vi har foretatt har vi kommet frem til de tiltakene vi synes er mest hensiktsmessige å ta i bruk i 24/7-bygget. Dette er tiltak som er nødvendige for å oppnå et nullenergi kontorbygg. Disse er oppsummert i følgende tabell:

Installasjoner	Tiltak	Spesifikasjoner
Ventilasjon	Balansert ventilasjon med varmegjenvinning og behovsstyring.	
Oppvarming og kjøling	Væske/væske varmepumpe med borehull og bruk av solfanger til dumping/lagring av energi.	Bruk av 14-16 stk. borehull med dybde 250-300 meter. Anbefaler en avstand mellom borehull på 10 meter.
Solkraft	Solceller på tak.	Anlegg på 615 m ² (fult utnyttet takareal) med Sunpower X21/345 moduler.
Isolasjon	Mineralull i vegger og tak. Polyuretan (byggeskum) rundt vinduer. Stivt polyuretan mot grunnen.	U-verdi for yttervegger må ned i 0,17 W/m ² k
Vindu	Tre lag med glass.	Argongass med huleromstykking på 17-18 mm. Vindusandel på 30 %.
Tak	Bruk av grønne tak (takhage).	
Belysning	LED downlights i alle oppholdsrom inkludert garasje og teknisk rom.	1 stk. 5 W LED downlight per 1,5 m ² .

Tabell 15 Forslag til tiltak for 24/7-bygget

For senere prosjekter vil vi anbefale at man avventer byggetegninger til løsninger for energieffektiv teknologi har blitt bestemt. Dette vil medføre et bedre samarbeid mellom arkitekter, byggherrer og konsulenter. Det vil også bidra til en forbedret implementering av tekniske og byggetekniske løsninger i bygget. De ulike løsningene vil nemlig i mange tilfeller påvirke den endelige designen av bygget.

Til slutt ønsker vi å påpeke at en energieffektivisering av 24/7 bygget vil gjøre det mer framtidsrettet, øke dets profilering og ikke minst gjøre det enda mer attraktivt for miljøbevisste leietakere.

8.0 Kilder

Aerogel Norge. (u.å). *Vår brosjyre om dagslyspaneler – isolering og lysspredning*. [Brosjyre]. Hentet 11. februar 2015 fra <http://aerogelnorge.no/category/dagslyspaneler-brosjyre/>

Allbiz (u.å). Mineralull isolasjonsmaterialer. Hentet 4. mai 2015 fra: <http://ekibastuz.all.biz/no/mineralull-isolasjonsmaterialer-g341018#.VUamvfntlBc>

Alonso, M.J., Liu, P., Mathisen, H.M., Ge, G., & Simonsen C. (2014). Review of heat/energy recovery exchangers for use in ZEBs in cold climate countries. *Building and Environment*, 84 (2015), 228-237.

Andersen, I., Gustavsen, A., Risholt, B. & Time, B. (2015, januar). Nullutslippsbygg er en klimaløsning. *Teknisk ukeblad*, 162 (1), 62.

Andresen, J. (2008). *Planlegging av solvarmeanlegg for lavenergiboliger og passivhus, en introduksjon* (SINTEF-rapport nr. 22/08). Oslo: SINTEF Byggforsk.

Antenocitis workshop news & blog (November, 2015). Blue Foam, Pink Foam, Foamboard and Styrofoam. Hentet 4. mai 2015 fra: <http://www.antenocitisworkshop.com/news/blue-foam-pink-foam-foamboard-and-styrofoam/>

Arbeidstilsynet. (1991). *Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen*. [Brosjyre]. Oslo: Direktoratet for arbeidstilsynet.

Artmann, N., Manz, P., & Heiselberg, P. (2007). Climatic potential for passive cooling of buildings by night-time ventilation in Europe. *Appl. Energy* 84(2007), 187-201.

Bayer MaterialScience. (u.å). *What is polyurethanes?* Hentet 16. mars 2015 fra <http://www.bayermaterialsciencenafta.com/businesses/pur/BayerMaterialScienceNAFTA-OurBusinesses-PolyurethaneSystemsandRawMaterials-WhatisPU.html>

Blom, I., Itard, L., & Meijer, A. (2010). LCA-based environmental assessment of the use and maintenance of heating and ventilation systems in Dutch dwellings. *Build environ*, 45(11), 2362-72.

Brekke, P.J (2014). Første bygg som går i pluss. *Teknisk ukeblad*, 161 (5), 62-63.

Boyle, G. (2012). *Renewable Energy*. United Kingdom: Oxford university press.

Byggteknisk forskrift. (2010). *Forskrift om tekniske krav til byggverk av 26. mars 2010 nr. 489*. Hentet 18. februar 2015 fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2010-03-26-489>

Chesne, L., Duforestel, T., Roux, J.J., & Rusaouen, G. (2012). Energy saving and environmental resources potentials: toward new methods of building design. *Build environ*, 58(12), 199-207.

Concerted Action (2014, 9. januar). *Energy performance of buildings*. Hentet 28. Januar 2015 fra <http://www.epbd-ca.eu/>

CTC Ferrofil, (u.å.). *Solfangere i kombinasjon med varmpumpe*. Hentet 23. april 2015 fra <http://www.ctc.no/kunnskapscenter/article.aspx?cat=1363&id=3186>

Danvik, D., (2014). Energy and Environmental Performance of new and future buildings. [PowerPoint Presentasjon]. Hentet 28. januar 2015 fra http://www.zeb.no/index.php/conference/item/download/92_52834f821dea69f0f15ef66360e4a4aa

Dahl. (u.å). *VA-konsept GRØNNE TAK*. Utgave 3 [Brosjyre]. Hentet fra: <http://www.dahl.no/no/Produkter/VA/Kataloger/>

Dar, U.I., Sartori, I., Georges, L., & Novakovic, V. (2013, 26-28 August). Improving the interaction between Net-ZEB and the Grid using advanced control of heat pumps. I *13th conference of International Building Performance Simulation Association held in Chambéry, France* (s.1365-1372).

Djuric, N., Novakovic, V., & Frydenlund, F. (2012). Improved measurements for better decision on heat recovery solutions with heat pumps. *International Journal of Refrigeration* 35, 35 (2012), 1558-1569.

Dokka, T.H. & Hermstad, K. (2006). *Fremtidens energieffektive boliger – en håndbok for planlegging av Passivhus og Lavenergiboliger*. Trondheim: Sintef, Enova og Husbanken.

Dokka, T.H., & Vik, T.A. (2001). *Hybrid ventilasjon. Muligheter og barrierer- eksempler – kontrollstrategi – prosjekteringsverktøy*. (SINTEF rapport nr. STF A01015). Trondheim: SINTEF bygg og miljø.

Drevon, F. (2012, 28. mars). Nullenergihus i Froland, Norges første Nullhus. *Teknisk ukeblad*. Hentet 12. januar 2015 fra <http://www.tu.no/bygg/2012/03/28/norges-forste-nullhus>

Earth Easy (u.å). *Energy Efficient Lighting*. Hentet 19. april 2015 fra: http://eartheasy.com/live_energyeff_lighting.htm

Encyclopædia Britannica (2013, 18. juli). *Window*. Hentet 10. april 2015 fra: <http://global.britannica.com/EBchecked/topic/645175/window>

Enova. (u.å). *Energieffektiv ventilasjon*. Hentet 27. februar 2015 fra <http://www.enova.no/radgivning/privat/rad-om-produkter-og-losninger/styring-og-effektivisering/ventilasjon/energieffektiv-ventilasjon/108/131/>

Enova. (u.å). *Enova og samfunnet*. Hentet 10. februar 2015 fra <http://www.enova.no/om-enova/enova-og-samfunnet/240/0/>

Enova (2011). *Kjøpsveileder energieffektiv belysning*. Hentet 18. april 2015 fra: <http://www2.enova.no/publikasjonsoversikt/file.axd?ID=435&rand=deb9a65c-bded-4e62-86d9-636d243fd35b>

Enova. (u.å). *Kort om Enovas formål og rammer*. Hentet 10. februar 2015 fra <http://www.enova.no/om-enova/rammebetingelser/57/0/>

Enova. (u.å). *Transport*. Hentet 12. februar 2015 fra <http://www.enova.no/finansiering/naring/transport/transport/946/1967/>

European Commission. (2015, 4. februar). *Renewable energy directive*. Hentet 01. Februar 2015 fra <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive>

Fi-foil. (u.å). *GFP Insulation*. Hentet fra 17. mars 2015 fra <http://www.fifoil.com/products/advanced-solutions-systems-reflective-insulation/gfp-insulation>

Fornybar. (u.å.). *Elektrisk energi fra solen*. Hentet 15. mars 2015 fra <http://www.fornybar.no/solenergi/teknologi#sol2.1>

Fornybar. (u.å.). *Energipolitikk*. Hentet 12. februar 2015 fra <http://www.fornybar.no/energipolitikk>

Fornybar. (u.å.). *Markedet i Norge*. Hentet 15. mars 2015 fra <http://www.fornybar.no/solenergi/elektrisk-energi-fra-solen/markedet-for-solceller/markedet-i-norge>

Fornybar. (u.å.). *Produksjonskostnader og nettparitet, elektrisitet fra solceller*. Hentet 15. mars 2015 fra <http://www.fornybar.no/solenergi/elektrisk-energi-fra-solen/produksjonskostnader-og-nettparitet-elektrisitet-fra-solceller>

Fossli (u.å) Torvtak. Hentet 4. mai 2015 fra: <http://fossli.no/vare-produkter/torvtak/>

F. Sense. (2010, 15. februar). *What is cellulose?* Hentet 27. Februar 2015 fra <http://antoine.frostburg.edu/chem/senese/101/consumer/faq/what-is-cellulose.shtml>

Future Built. (2014). *Powerhouse Kjørbo* [Brosjyre]. Oslo: Futurebuilt.

Færden, H.C. (2014). Kontorbygget som produserer mer energi enn det bruker. *Ingeniørnytt*, 50 (3), 30-31.

Glava isolasjon. (u.å). *Isolere med Gele?* Hentet 11. februar 2015 fra: <http://www.glava.no/leilighets-naeringsbygg/isolere-med-gele/>

GreenSpec. (u.å). *Innovative Gas-Filled Panel Insulation from Fi-Foil*. Hentet 17. mars 2015 fra <http://greenspec.buildinggreen.com/blogs/innovative-gas-filled-panel-insulation-fi-foil>

Grindahl, S. (2011, 9. juni). *Mot bedre behovsstyrt ventilasjon?* Hentet 9. mars 2015 fra http://www.vvsforum.no/artikkel/4661/4661.html#.VSZZI_msWQM

Grynning, S., Beatens, S., Jelle, E, B., Gustavsen, A., Uvsløkk, S., Meløysund, V (2009). *Vakuumisolasjonspaneler for bruk i bygninger – Egenskaper, krav og muligheter* (SINTEF-rapport nr. 31/09). Trondheim: SINTEF byggforsk.

Grynning, S., Gustavsen, A., & Time, B. (2011). Solar Shading Systems and Thermal Performance of Windows in Nordic Climates. 9th Nordic Symposium on Building Physics, NSB 2011, Tampere, Finland, Tampere University of Technology.

Grynning, S., Time, B., & Matusiak, B. (2014). Solar shading control strategies in cold climates – Heating, cooling demand and daylight availability in office spaces. *Solar Energy* 107(2014), 182-194.

Gunner, A., Hultmark, G., Vorre, A., Afshari, A., & Bergsøe, N.C. (2014). Energy-saving potential of novel ventilation system with decentralised fans in an office building. *Energy and buildings*, 84(2014), 360-366.

Gustavson, A. (2012, 5. September). Advanced materials technologies: [PowerPoint Presentasjon]. Hentet fra <http://zeb.no/index.php/conference/item/262-nye-isolasjonsmaterialer-er-nanoteknologi-1-%C3%B8sningen?>

Gustavsen, A., Andresen, I., Lisø, K.R & Jacobsen, T. (2014). Et laboratorium for fremtidens bygninger. *Teknisk ukeblad*, 161 (7), 61-62.

G. van Moeseke, I. Bruyère, A. De Herde (2007). Impact of control rules on the efficiency of shading devices and free cooling for office buildings. *Build. Environ.*, 42 (2), 784–793.

Halogenpære. (2009, 14. februar). *I Store norske leksikon*. Hentet 19. april 2015 fra <https://snl.no/halogenp%C3%A6re>.

Halvorsen, B. (2009). *Energibrønner vs. Uteluft som energikilde til varmepumper* (Norsk Brønnboreforening (NBF) – rapport 31.09.2009). Asker: Futurum Energi AS.

H. M., Mathisen. (2004). *Evaluering av hybrid ventilasjon – Casestudie Nordlana Røstad* (SINTEF-rapport nr. 13/04). Trondheim: SINTEF energiforskning.

Holmstad, Ø. (2007). *Isolasjon*. Hentet 16. mars 2015 fra <http://www.naturligbyggeri.no/tema/Isolasjon.html>

Holtebekk, Trygve. (2009, 14. februar). Lysrør. I *Store norske leksikon*. Hentet 19. april 2015 fra <https://snl.no/lysr%C3%B8r>.

Huseiernes Landsforbund. (2012, 31. oktober). *Ventilasjon og energibruk*. Hentet 27. februar 2015 fra <http://www.huseierne.no/boligsporsmal/energi/reduser-energiforbruket/ventilasjon-og-energibruk/>

Innotech Solar (2014, mai). *EcoPlus*. Hentet 15. april 2015 fra http://www.innotechsolar.com/fileadmin/redakteur/downloads/productsheets/EcoPlus_20141205_EN_Mono_250_260_270.pdf

Innovasjon Norge. (u.å). *Om innovasjon Norge*. Hentet 12. februar 2015 fra http://www.innovasjon norge.no/no/Om-Oss/omoss/#.VSZD7_msWQO

Jensen, B., Thyholt, M., Mangor-Jensen, o., Wigenstad, T., Dokka, T.H., Lassen, N., Stene, R. & Lisø, K.R., (2014). Enova og solen. *Teknisk ukeblad*, 161 (3), 62.

Kim, J.H., Yang, K.W., Park, Y.J., Lee, K.H., Yeo, M.S., & Kim, K.W. (2007). An Experimental Study for The Evaluation of the Enviromental Performance by The Application of the Automated Venetian Blind. *Clima 2007 Wellbeing Indoors*.

Kulltrådlampe. (2009, 14. februar). I *Store norske leksikon*. Hentet 18. april 2015 fra: <https://snl.no/kulltr%C3%A5dlampe>.

Lavenergiprogrammet. (u.å). *Krav til energieffektivitet i TEK 10*. Hentet 18. februar 2015 fra <http://www.lavenergiprogrammet.no/lover-og-regler/krav-til-energieffektivitet-i-tek-10->

article1698-146.html

Lavenergiprogrammet. (Tredje utgave, November 2013). *Prosjektering av passivhus*. Hentet 24. mars 2015 fra

http://www.lavenergiprogrammet.no/getfile.php/Nye_bilder/Filer/Prosjektering-av-passivhus_Innhold-og-1ste-kapittel.pdf

Lavenergiprogrammet. (u.å). *Standarder for energibruk i bygninger*. Hentet 19. februar 2015 fra <http://www.lavenergiprogrammet.no/standarder/category147.html>

Lyspære. (2009, 22. desember). *Store norske leksikon*. Hentet 18. april 2015 fra <https://snl.no/lysp%C3%A6re>.

Lånke, A.F, Smits, F. & Holthe, F. (2013). Passivhus krever mer fleksible energiregler. *Teknisk ukeblad 160 (27)*, 48-49.

Marketech International Inc (u.å). Silica Aerogel. Hentet 4. mai 2015 fra: <http://mkt-intl.com/materials/aerogel/silica-aerogel/>

Mineralull (2009, 14. februar). *I Store norske leksikon*. Hentet 10 februar 2015 fra <http://snl.no/mineralull>.

Mjøselement. (u.å). *Nullenergihus*. Hentet 28. januar 2015 fra <http://www.mjoselement.no/index.php/miljo-energi/nullenergihus>

Mlive Media Group (2011). Nu-Wool Premium Cellulose Insulation has been made in West Michigan for more than 60 years. Hentet 4. mai 2015 fra: http://blog.mlive.com/grand_rapids_commercial_content/2011/05/nu-wool_premium_cellulose_insulation_has_been_made_in_west_michigan_for_more_than_60_years.html

Multiconsult (2013). *Kostnadsstudie, Solkraft i Norge* (Enova-rapport 125340-RIEn-RAP-001/2013). Trondheim: Enova SF.

Mysen, M. (2010, 25. juni). Fremtidens bygninger. Energieffektivisering i et miljøperspektiv [PowerPoint Presentasjon]. Hentet 28. januar 2015 fra

<http://www.sintef.no/globalassets/project/reduceventilation/presentasjoner/presentasjonve25062010.pdf>

National Fiber. (u.å). *An introduction to Cellulose Insulation*. Hentet 27 Februar 2015 fra <http://www.nationalfiber.com/genInterest.htm>

NILAN, (u.å). *FAQ*. Hentet 6. april 2015 fra <http://www.nilan.no/nb-no/forside/loesninger/erhvervsloesninger/faq>

Norges Vassdrags- og energidirektorat (NVE). (2014, 4. november). *Om energimerkeordningen*. Hentet 19. februar 2015 fra <http://www.energimerking.no/no/Energimerking-Bygg/Om-energimerkesystemet-og-regelverket/>

Norges Vassdrags- og energidirektorat (NVE). (2014, 3. november). *Karakterskalaen*. Hentet 19. februar 2015 fra <http://www.energimerking.no/no/Energimerking-Bygg/Om-energimerkesystemet-og-regelverket/Energimerkeskalaen/>

Norges Vassdrags- og energidirektorat (NVE). (2014, 4. november). *Systembeskrivelse*. Hentet 19. februar 2015 fra <http://www.energimerking.no/no/Energimerking-Bygg/Om-energimerkesystemet-og-regelverket/Systembeskrivelse/>

NOVAP (u.å.). *Ulike varmepumper*. Hentet 31. mars 2015 fra http://www.novap.no/ulike_varmepumper

NOVAP (u.å.). *Varmekilder*. Hentet 31. mars 2015 fra http://www.novap.no/Varmekilder_for_varmepumpe

NOVAP (u.å.). *Varmepumpeteknologi*. Hentet 31. mars 2015 fra <http://www.novap.no/varmepumpeteknologi>

Nylund, H.K. (2014, 22. april). *Vi kan forenkle mye*. Hentet 29. januar 2015 fra <http://www.vvsforum.no/artikkel/8479/-vi-kan-forenkle-mye.html#.VTkiiyHtIBc>

Nysetvold, G. (2014). Soleklart fra Enova. *Teknisk ukeblad*, 161 (4), 67.

Onyx Solar. (u.å). *Photovoltaic Estimation*. Hentet 18. april 2015 fra <http://www.onyx-solar.com/smarttools/indexen.php>

Ore, Sven. (2009, 14. februar). Polyuretanskumplast. I *Store norske leksikon*. Hentet 17. mars 2015 fra <https://snl.no/polyuretanskumplast>.

Passivhus institut. (2006, 23. september). *Definition of passive houses*. Hentet 26. januar fra http://www.passivhaustagung.de/Passive_House_E/passivehouse_definition.html

Passivhus. (2009). I *Store Norske leksikon*. Hentet 29. januar 2015 fra <https://snl.no/passivhus>

Pedersen, B. (2009). Borsyre. I *Store norske leksikon*. Hentet den 15. mars 2015 fra <https://snl.no/borsyre>

P. Fiset. (2007, 28. November). *Cellulose Insulation – A Smart Choice*. Hentet 27. februar 2015 fra <http://bct.eco.umass.edu/publications/by-title/cellulose-insulation-a-smart-choice/>

Produktfakta. (2014, 16. September). *Profftre AS: Bjørnsletta skole*. Hentet 27. februar 2015 fra <http://www.produktfakta.no/profftre-as-bjorn-sletta-skole-levert-med-svanemerket-accoya-fasadekledning-79323/nyhet.html>

Promat (u.å). Vacuum insulated panels. Hentet 4. mai 2015: <http://www.promat-hpi.com/en/product%20groups/microporous/slimvac>

PU Nordic. (u.å). *Varmeisolasjonsmaterialer av stivt polyuretanskum*. Hentet fra 17. mars 2015 fra http://www.excellence-in-insulation.eu/site/fileadmin/user_upload/PDF/library/reports/BING_TECH_REP_on_Thermal_insulation_materials_made_of_rigid_polyurethane_foam__NO_.pdf

Røstad, H., & Havellen, V. (2009). Ventilasjon. I *Store Norske leksikon*. Hentet 27. februar 2015 fra <https://snl.no/ventilasjon>

Sartori, I., Napolitano, A., Marszal, A.J., Pless, S., Torcellini, P. & Voss, K. (2010). Criteria for Definition of Net Zero Energy Buildings. I Proceedings of Eurosun 2010: *International conference on solar heating, cooling and buildings*. Graz, Austria.

Schuco (u.å). Vinduer og dører: Produkter. Hentet 4. mai 2015:

http://www.schueco.com/web/no/architekten/fenster_und_tueren/products/fenster/aluminium/schueco_aws_90_si_plus/

Seehusen, J. (2014, 13. februar). Det er snakk om å fintune mennesker. *Teknisk ukeblad*, 161 (3), 46-47.

Simonsen, I., Time, B., & Andresen, I. (2011). *Erfaringer med bygningsintegreerte solfangere i Norge* (ZEB prosjekt rapport nr. 02/11). Trondheim: SINTEF byggforsk.

Standard Norge. (2010). *Bygningers termiske egenskaper. Bestemmelse av bygningers luftlekkasje. Differensialtrykkmetode*. (NS-EN 13829: 2000 + NA: 2010, ISO 9972: 1996, modifisert). Oslo: Standard Norge

Standard. (2014, 3. oktober). *NS 3700 – kriterier for passivhus og lavenergibygninger*. Hentet 12. februar 2015 fra <http://www.standard.no/nyheter/nyhetsarkiv/bygg-anlegg-og-eiendom/2013/ns-3700-kriterier-for-passivhus-og-lavenergihus---boligbygninger/>

Standard. (2014, 2. juli). *NS 3701 – Norsk passivhusstandard for yrkesbygninger*. Hentet 12. februar 2015 fra <http://www.standard.no/nyheter/nyhetsarkiv/bygg-anlegg-og-eiendom/2013/norsk-passivhusstandard-for-yrkesbygninger/>

Stene, J. (2012). TEP4120 Termodynamikk 1, Varmepumper. [PowerPoint Presentasjon].

Hentet 31. mars 2015 fra

<http://www.ivt.ntnu.no/ept/fag/tep4120/innhold/Laboppgaver/Varmepumpe%20Introforelesning.pdf>

Stene, J. (1997). *Varmepumper: grunnleggende varmepumpeteknikk*. Trondheim: SINTEF Energiforskning, 2001.

Sunpower (2011). *E20/333 and E20/327 SOLAR PANELS*. Hentet 15. april 2015 fra <http://www.solarenergyalliance.com/Images/pdfs/Sunpower%20E20%20327%20333W%20spec%20sheet.pdf>

Sunpower (2013). *X-series Commercial solar panels*. Hentet 15. april 2015 fra <http://us.sunpower.com/sites/sunpower/files/media-library/data-sheets/ds-x21-series-345-commercial-solar-panels-datasheet.pdf>

The National Fenestration Rating Council (2012). *Energy Ratings*. Hentet 10. april 2015 fra: <http://www.nfrc.org/windowratings/Energy-ratings.html>

Thon H. (2005, 12. desember). *Goodbye Sony VAIO T, Hello VAIO TX Part 1*. Hentet 1. mai 2015 fra: <http://www.tomsguide.com/us/exit-the-sony-vaio-t,review-607-13.html>

Thue J.V. (2009). *I Store norske leksikon*. Hentet 16. mars 2015 fra <https://snl.no/fugeskum>.

Thyholt, M. (2011, 22. September). *Powerhouse One i Trondheim* [PowerPoint Presentasjon]. Hentet 12. januar 2015 fra http://www.byggalliansen.no/dokumenter_11/220911_MT/04_220911_PowerHouse_Marit_Thyholt.pdf

U.S. Department of Energy (2013). *The History of the Light Bulb*. Hentet 18. April 2015 fra: <http://energy.gov/articles/history-light-bulb>

U.S. Department of Energy. *Zero Energy Window Prototype*. Hentet 25. mars 2015 fra http://windows.lbl.gov/adv_sys/higherinsert/zeroenergywindowdoe-factsheet.pdf

Vakiloroaya, V., Samali, B., Fakhar, A., & Pishghadam, K. (2013). A review of different strategies for HVAC energy saving. *Energy Conversion and Management*, 77, 738-754

Varmepumpeinfo (2012, 30. juli). *Hva er en varmepumpe?* Hentet 31. mars 2015 fra <http://www.varmepumpeinfo.no/content/hva-er-en-varmepumpe>

Varmepumpeinfo (2012, 27. juli). *Luft til luft varmepumpe*. Hentet 31. mars 2015 fra

<http://www.varmepumpeinfo.no/content/luftluft-varmepumper>

Varmepumpeinfo (2012, 27. juli). *Luft til vann varmepumpe*. Hentet 31. mars 2015 fra <http://www.varmepumpeinfo.no/content/luftvann-varmepumper>

Wigenstad, T., Schild, P.G., Klinski, M., & Simonsen, I. (2012). *Ventilasjons- og varmeløsninger i boliger med lavt energibehov* (Sintef byggforsk rapport nr. 110/12). Oslo: SINTEF akademisk forlag.

WisegEEK. (u.å). *Polyurethane*. Hentet 16. mars 2015 fra <http://www.wisegEEK.org/what-is-polyurethane.html>

Yu, T., Heiselberg, P., Lei, B., Pomianowski, M., & Zhang, C. (2014). *A novel system solution for cooling and ventilation in office buildings: A review of applied technologies and a case study*. *Energy and buildings*, 90 (2015), 142-155.

Vedlegg

Vedlegg 1: Fjellbrønner

Vedlegg 2: Beregning borehull og varmepumpe

Vedlegg 3: Beregning varmebehov/solfanger

Vedlegg 1

Fjellbrønn nr. 6036

		<u>Lokalisering</u>	
Totalt dyp av brønn:	77.00 meter	Fylke:	Rogaland
Dyp til fjell:		Kommune:	Haugesund (1106)
Vannføring: (før trykking/sprengning)	3000.00 l/time	Gårdsnr:	
Stabil vannstand: (etter boring målt fra overflaten)		Bruksnummer:	
Boredato:	Ukjent	UTM sone:	32 V
Brønnens bruk:	Ukjent	ØV-koordinater:	290419.00
		NS-koordinater:	6589693.00
Vannverk:		Kartblad (1:50 000)	Haugesund (1113-1)
Borediameter:		Stedfestningsmetode:	Kartrutereferanse på 1:50000 kart
Forings/brønnrørmateriale:	Rustfritt stål	Stedfestningsnøyaktighet:	50000 cm
Forings/brønnrørlengde:		<hr/>	
Boring:	Loddrett		
Borefirma:	Ukjent		
Borerens navn:			
Andre opplysninger:	Data fra arkiv bore 6036 - b36v - 10 periode:.		
<u>Kontaktopplysninger:</u>			
Boresteds adresse:	Ukjent		

© Norges geologiske undersøkelse

Fjellbrønn nr. 6065

Lokalisering

Totalt dyp av brønn:	120.00 meter	Fylke:	Rogaland
Dyp til fjell:	2.00 meter	Kommune:	Haugesund (1106)
Vannføring: (før trykking/sprengning)	252.00 l/time	Gårdsnr:	
Stabil vannstand: (etter boring målt fra overflaten)		Bruksnummer:	
Boredato:	01.01.195 7	UTM sone:	32 V
Brønnens bruk:	Ukjent	ØV-koordinater:	290319.00
		NS-koordinater:	6589293.00
Vannverk:		Kartblad (1:50 000)	Haugesund (1113-1)
Borediameter:		Stedfestningsmetode:	Kartrutereferans e på 1:50000 kart
Forings/brønnrørmateriale :	Rustfritt stål	Stedfestningsnøyaktighet :	50000 cm
Forings/brønnrørlengde:			
Boring:	Loddrett		
Borefirma:	Ukjent		
Borerens navn:			
Andre opplysninger:	Data fra arkiv bore 6065 - b36v - 39 periode: vannstand målt etter prøvepumping: 0.		

Kontaktopplysninger:

Boresteds adresse: Sakkestad, Skåre

Lag (fjellbrønn):

**Dyp fra overflaten
(meter)**

Fra	Til	Evt. vanninnslag	Slamfarge Bergart Andre opplysninger
2.00	0.00		

Vedlegg 2

Temp borehull	Dypde borehull	Samlet energibruk kWh			Gratis energi		Redusert el	Kostnad solceller	Sum kostnad borehull og solceller
		Delta T3	Delta T5	Delta T7	Gratis energi (kWh)	Kostnad (kr/kWh)			
4	100	35 480	29 413	25 740	94 260	kr 12,7	-	kr 4 000 000	kr 5 200 000
5	150	37 191	29 624	25 567	94 433	kr 12,7	173	kr 3 995 046	kr 5 195 046
6	200	38 925	29 830	25 392	94 608	kr 13,3	348	kr 3 990 054	kr 5 251 852
7	250	40 724	30 139	25 296	94 704	kr 12,4	444	kr 3 987 314	kr 5 161 034
8	300	34 446	30 366	25 143	94 857	kr 13,9	597	kr 3 982 939	kr 5 297 939
9	350	35 666	30 422	25 005	94 995	kr 17,7	735	kr 3 978 996	kr 5 658 996
10	400	37 062	25 765	24 891	95 109	kr 21,4	849	kr 3 975 732	kr 6 015 386
11	450	38 528	25 960	24 491	95 509	kr 27,6	1 249	kr 3 964 307	kr 6 604 307
12	500	41 255	26 015	21 709	98 291	kr 30,5	4 032	kr 3 884 805	kr 6 884 805
13	550	42 492	26 834	21 562	98 438	kr 36,6	4 178	kr 3 880 615	kr 7 480 615

Vedlegg 3

	PDS 24/-bygget	Passivhusstandard		Total	Nødvendig kollektorareal (m ²)	
		Passivhusstandard	Forretning		Horisontalt	40*tilt
v a r m e v e b e h o	Oppvarmet areal (m ²)	4 053	806	4 858	Her beregnes kollektorareal ved ulike konfigurasjoner nødvendig for å dekke henholdsvis oppvarmings- og tappevannsbehovet	
	Netto oppvarmingsbehov (kWh/m ²)	19				
	Tot. oppvarmingsbehov (kWh)	76 998	15 306	92 304		
	Andel av varmebehovet som dekkes av fornybar energi	65 %				
	Resterende oppvarmingsbehov (kWh)	26 872			116,75	98
	Spesifikt tappevannsbehov (kWh/m ²)	5				
	Tot. tappevannsbehov (kWh)	20 263	4 028	24 291	105,5	88
Totalt varmebehov og nødvendig kollektorareal:				51 163	222,25	186

I n p u t	Kollektorareal (m ²)	220
	Virkningsgrad	30 %
	Kollektorpris (kr/m ²)	1500
	Andel montasjekost (inkl.rør, tanker, utstyr)	100 %

P r i s	Pris inkl. montering, rørføring og tilhørende utstyr (kr)	666 750	558 000
	Tillegg for 20% usikkerhet (kr)	133 350	111 600
	Tot. pris inkl. mva (kr)	1 000 125	837 000

Ø k o n o m i	Brukbar energi v/ valgt kollektorareal		50 655	60 786
	Andel av varmebehovet	Det er her antatt at kollektorene vil ta opp 20% mer av solvarmen v/ optimal tilt 40°, dermed kan også kollektorarealet reduseres med 20% og fremdeles produsere nok varme til å dekke 100% av varmebehovet som varmepumpen ikke tar seg av.	99 %	119 %
	Penger spart 1kr/kWh (kr/år)		51 163	51 163
	Pris for anlegg		1 000 125	837 000
	Støtte fra Enova (10kr/kWh solvarme)		511 626	511 626
	Støtte fra Enova (60%)		600 075	502 200
	Nedbetalingstid (år)		8	7