



Høgskolen i **Hedmark**

Evenstad

Lars Christen Mamen

Bacheloroppgåve

CO₂ rekneskap for bioenergi og bergvarme i
passivhus.

SIMIEN analyse av Frydenhaug Skole.

CO₂ accounting for bioenergy and heat pump in passive houses.

SIMIEN analysis of Frydenhaug School.

Utmarksforvaltning

2015

Samtykker til utlån hos høyskolebiblioteket

JA NEI

Samtykker til tilgjengeliggjøring i digitalt arkiv Brage

JA NEI

1 Forord

Bygningar står for ein stor del energibruken i Noreg. Mykje av denne energien går med til oppvarming og er basert på elektrisitet (el). For å spare høgverdi energi, som elektrisitet, er det sett i gang eit arbeid for å redusere energibehovet i bygningar, og samstundes erstatte el-behovet med andre energikjelder. Myndigheitskrav til energieffektivitet i bygningar har vorte strengare dei siste åra. I marknaden har det kome ynske om å byggje bygg som er mest mogleg energieffektive og som er miljøvenlege i eit livsløpsperspektiv. Passivhus med klimarekneskap er i ferd med å bli den nye standarden i delar av marknaden.

Bakgrunnen for denne oppgåva er finne svar på om bioenergi vil gje negative utslag i ein CO₂ rekneskap samanlikna med det valde oppvarmingsanlegget med varmepumpe basert på bergvarme. Eg vil også gjera noverdiberekningar basert på ein forventa utvikling av energiprisen for både eksisterande anlegg og alternativa basert på bioenergi.

Det er i oppgåva teke utgangspunkt i ein ny skule i Drammen, Frydenhaug skole, bygd etter passivhusstandard med høge krav til energiutnytting, isolering og elles miljøvenlege løysingar. Skulen er bygd med støtte frå Enova og er eit «førebilete-prosjekt» i FutureBuilt. FutureBuilt er eit samarbeid om miljøvenleg byutvikling i Oslo, Drammen, Asker og Bærum.

Det er utarbeida eit energirekneskap for Frydenhaug skole etter Norsk Standard 3031. Ved å bruke same metodikk kan ein samanlikne ulike energikjelder ved å berekne primærenergi, CO₂ utslepp, vekta levert energi og energikostnad basert på levert energi.

Eg ynskjer å takke representantar frå følgande firma og organisasjonar som har hjelpe med rådgjeving, stipend og verdifulle opplysningar:

Bengt Gunnar Hillring, professor ved Høgskolen i Hedmark

Magnus Løseth, energi og miljørådgjevar i Backe Gruppen

Christian Molt Rise, driftssjef i Bøhmer Entreprenør AS

Marius Bakken, rådgjevande ingeniør i Rejlers Consulting AS

Tore Rem Hofseth, finansdirektør Backe Gruppen

Byggfag Drammen –Bærum

2 Samandrag

Dei norske byggjeforskriftene blir stendig revidert med sikte på å byggje meir energiøkonomiske bygg. Likevel har ein del offentlege og private bygherrar sett at det kan løne seg å overoppfylle byggjeforskriftenes krav til isolasjonsverdi og varmebehov. Fleire ambisiøse kommunar, offentlege institusjonar og organisasjonar har gått saman i «FutureBuilt», for å skape «førebileteprosjekt» som andre kan hauste erfaringar frå. Desse førebildeprosjekta er tilpassa ein norsk utgåve av den tyske «Passivhaus-standard», med svært strenge krav til energibruk, varmebehov og miljøvenlege energiløysingar.

Slike bygg vil likevel forbruke energi til oppvarming, tappevatn, belysning og tekniske løysingar. For å kunne optimalisere energibehovet er det utvikla standardar og dataprogram som kan modellere energiforbruket, varmebehovet og klimagassutsleppa frå bygg. I denne oppgåva er dataprogrammet SIMIEN nytta for å modellere og samanlikne to ulike oppvarmingssystem, eit basert på varmpumpe og solfangar, og eit basert på fliskjel og solfangar. Resultatet viser at ein fliskjel vil vera mest effektivt for å redusere klimagassutsleppa frå bygget. Klimagassutsleppa frå den el spesifikke energien som driv varmpumpa og dei tekniske anlegga i bygget vil vera avhengig utsleppa frå den europeiske el-produksjonen og samansetninga av energimiksen.

I eit bedriftsøkonomisk perspektiv vil ikkje investeringane i varmpumpe vera lønsame. Eit bioenergianlegg vil vera mindre ulønsamt, men lønsemda i begge anlegg er sterkt avhengig av framtidig energipris og eventuelle kostnader med CO₂ prising.

3 Summary

The Norwegian building regulation is steadily revised with an aim to build more energy efficient buildings. Yet some public and private builders have seen that it may pay off to increase requirements for insulation value and heating needs. Several ambitious municipalities, public institutions and non-governmental organizations have joined together in "FutureBuilt", to create "best practice- projects", which from others can gain experiences. These "best-practice projects" are an adapted Norwegian edition of the German "Passivhaus-standard", with very strict requirements for energy usage, heat demand and environmental friendly energy solutions.

Such buildings would still consume energy for heating, hot water, lighting and technical equipment. In order to optimize the energy needs, standards and computer programs that can model the energy consumption, heat demand and emission of greenhouse gases from buildings has been developed. In

this thesis, the computer program SIMIEN is used to model and compare two different heating systems, one based on heat pumps and sun-collectors and another based on wood chips and sun-collectors. The result shows that woodchips will be most effectively to reduce greenhouse gas emissions from the building. Greenhouse gas emissions from the electricity specific energy, which fuel the heat pump and the technical installations in buildings, will depend on the greenhouse gas emission in the European electricity production and composition of the energy mix.

However, from a business perspective no investments in heat pump will be profitable. A bioenergy plant will be more profitable but profitability will in both cases be strongly dependent on future energy pricing and the eventual pricing and emissions of CO₂.

Innhold

1 Forord	3
2 Samandrag.....	4
3 Summary.....	4
4 Innleiing	6
4.1 Problemstilling.....	7
4.2 Avgrensingar.....	7
5 Prosjekt Frydenhaug skole	8
6 Definisjonar	8
6.1 Passivhus	8
6.2 Passivhusstandard NS3701.....	9
6.3 Energisimulering.....	13
6.4 Livssyklusanalyse LCA	13
7 Metode	14
7.1 Tilført energi	14
7.2 Produsert energi.....	14
7.3 Levert energi.....	14
7.4 Systemverknadsgrad	15
7.5 Romoppvarming	15
7.6 Investeringsanalyse	16
8 Oppvarmingsmetode.....	17
8.1 Varmepumpe på bergvarme	17
8.2 Solfangaranlegg	17
8.3 Biobrensel.....	18

8.3.1 Flis.....	18
8.3.2 Pellets.....	19
8.3.3 Brikettar.....	19
8.3.4 Biogass.....	19
8.4 El frå nettet.....	19
8.9 Kjølemedie til varmepumpe.....	20
9 Resultat.....	20
9.2 Investeringsanalyse og berekninga av lønsemd.....	24
10 Framskrivning 30 år.....	25
11 Diskusjon.....	28
11.1 Systemverknadsgrad.....	31
11.2 Kjølemedie.....	31
11.3 Soneinndeling og soltilskot.....	31
11.4 Tappevatnbehov og terapibasseng.....	32
11.5 Varmebehovet ved Frydenhaug skole.....	32
11.6 Val av kalkulasjonsrente.....	32
11.7 Val av oppvarmingsløyising.....	33
12 Konklusjon.....	34
12 Kjelder.....	34
12.1 Personlege meddelelsar:.....	38
Vedlegg.....	38
1 Samtale med Geir Andersen, Drammen Eiendom KF.....	38
2 Netto noverdiberekning.....	39

4 Innleiing

Det er ein uttalt politisk semje om å søkje å redusere klimagassutsleppa i Europa. Samstundes er forsyningstryggleiken for energi ustabil i den europeiske marknaden. Politisk og militær ustabilitet i dei landa som eksporterer energi til Europa dei siste åra, påverkar politiske styresmakter til å redusere importavhengigheita, redusere avhengigheita av fossile energikjelder og satse på energieffektivitet (Person et.al 2006/ European Commission 2015).

Bygningar står for omtrent 80 TWh, tilsvarande 40% av innanlandsk sluttforbruk av energi. Yrkesbygg bruker aleine 30 TWh, eller snautt 40 % av samla sluttbruk av energi i bygg i Noreg i 2011. 77 % av energiforbruket i yrkesbygg kjem frå el (Abrahamsen et.al. 2013).

Energi har ulike kvalitetar. Energi med høg kvalitet kjenneteiknast ved at energien har stor kapasitet til å utføre arbeid, eksergi, medan lågkvalitetsenergi har stor varmekapasitet, anergi. Elektrisitet og olje er energiformer med høg eksergi, medan biomasse og (geo-)termisk energi har stor del av anergi. Å nytte høgverdi energiformer med stor del eksergi til oppvarming kan sjåast på som sløsing i ein marknad der energi blir ein stadig knappare ressurs. Ved å gjennomføre tiltak i bygningsmassen kan ein frigjera elektrisitet og andre høgverdige energiberarar til andre tiltak i samfunnet.

4.1 Problemstilling

Denne bacheloroppgåva skal undersøke korleis bruk av biobrensel påverkar CO₂-rekneskapen og kostnader ved oppvarming av Frydenhaug skole i Drammen. I oppgåva skal eg samanlikne dagens oppvarmingssystem basert på bergvarme/varmepumpe og solfangar («Dagens skule»), med eit alternativt oppvarmingssystem; basert på biokjel med flisfyring i kombinasjon med solfangar («Alternativ bio»). Økonomien blir analysert basert på energikostnad, og som investeringskostnad basert på noverdien av dei framtidige kontantstraumane.

4.2 Avgrensingar

Eg skal analysere CO₂ rekneskapen i det valde alternativet og det eksisterande anlegget basert på eit livsløp på 60 år for bygget, og med forventa netto energibehov på 52,9 kWh/m²/år. CO₂-rekneskap og energikostnad blir rekna ut for fyrsteåret i drift, 2015, og etter 30 år. Det er ikkje lagt opp til ein fullverdig LCA (Life Cycle Assessment), men ein analyse av CO₂ ekvivalentar etter same metode som Future Built rapport «Klimagassberegning Frydenhaug skole. Ferdigstillelse «som bygget»» (Rambøll 2014). Det blir lagt inn verdiar for CO₂ ekvivalentar for energiberarane ved dei ulike oppvarmeløysingane. Det blir ikkje lagt inn verdiar for bygg for frittstående fyringsanlegg ettersom grensesnittet er ved byggets yttervegger.

For eit fullstendig klimagassrekneskap burde verdiar for dei tekniske løysingane i oppvarmingssystema vore lagt inn. Slik kunne ein få ein reell samanlikning av dei ulike løysingane, men det er vanskeleg å innhente miljødeklarasjonar for dei ulike tekniske installasjonane, kjelane, brønnboringa, solfangaranlegget og liknande. Slike data ligg ikkje inne i rapporten frå Future Built/Rambøll, og vil også liggje utanfor ramma for denne bacheloroppgåva. Denne oppgåva er ikkje ei miljøanalyse, men ein analyse av klimagassutsleppa og økonomien i dei ulike energiløysingane for Frydenhaug skole.

Det er gjort ein investeringsanalyse basert på netto noverdi av framtidige kontantstraumar. Det er ikkje teke omsyn til eventuelle offentlege stønadsordningar for investering i alternativ oppvarming.

5 Prosjekt Frydenhaug skole

Frydenhaug skole er ein interkommunal barne og ungdomsskule i Drammen for born med spesielle behov. Byggherre er Drammen Eiendom KF. Skulen er planlagt for 100 elevar og 110 lærarar.

Frydenhaug skole er bygd etter passivhusstandarden, med ambisiøse krav til CO₂ utslepp, både for bygningsarbeidet, materialvala, energiforbruket og transporten av elevar og tilsette. Skulen ligg nordvendt, og er bygd over tre høgder. Austfløya har ei høgde, den sentrale delen har 3 høgder og nordfløya er bygd med 2 høgder. Underetasjen er undervisningsrom, fellesrom og tekniske rom, første høgda er undervisningsrom og fellesrom, medan andre høgda er for kontor og kvilerom for lærarar. Taka er flate, og det er montert solfangarar på taket over tredje høgda. Grensesnittet for energiberekninga er byggets ytterveggar. Det er med andre ord ikkje berekna den energien som går med til snøsmeltingsanlegget i skulegarden. Skulen har ein avdeling med terapibasseng og dusjanlegg. Det er heller ikkje lagt inn verdiar for oppvarmingsbehov og tappevatn for dette arealet. Frydenhaug Skole er prosjektert etter Prosjektrapport 42 frå Sintef (Dokka et. al 2009), då denne var gjeldande bransjestandard før NS 3701 kom i 2012 (pers. med. Rise 2015 a).

Tabell 5.1 Sentrale data for Frydenhaug skole

Adresse og postnummer	Frydenhaugveien 30 og 30A, 3041 Drammen
Høgde over havet	Ca 21 moh
Årsgjennomsnittstemperatur	=6,2 °C
BTA	5457 m ²
Oppvarma BRA	4886 m ²
Type	Barne og ungdomsskule
Tal tilsette/ elevar	110/100

6 Definisjonar

Der er utvikla ein fagterminologi tilknytt bygningar og energiberekning. Nedanfor er det presentert og definert nokre sentrale omgrep i ordsiftet om klimavenlege bygningar.

6.1 Passivhus

Passivhus er eit hus med design for å minimalisere energibehovet basert på passive tiltak som betre isolasjon, gode konstruksjonar frie for kuldebruer og luftlekkasje, og utnytting av energi frå passivt soltilskot. Eit passivhus kan beskrivast som eit bygg med komfortabelt inneklima som oppnåast utan bruk av konvensjonelt oppvarmings- eller kjøleanlegg (Sintef/Rambøll 2013).

Resultatet av dette er at det vert låge kostnader knytt til oppvarminga av bygget, og at ein kan velja eit sterkt forenkla oppvarmingssystem. Typisk for passivhus er at ein stor del av energibehovet vil gå med til varmt tappevatn og lysinstallasjonar. Samstundes som det er eit mål om å bruke lite energi, er det eit mål om at den energien som brukast skal vera lokal og ha låge CO₂ utslipp.

Viktige faktorar for eit passivhus er i fylgje Passivhusinstituttet i Darmstadt, Tyskland:

Oppvarmingsbehov, oppvarmingseffekt og primærenergibehov. Eit passivhus skal bruke halvparten av energien av det eit tilsvarende hus bygd etter byggforskrifta frå 2010 (TEK10) ville forbrukt. Eit passivhus skil seg frå eit plusshus ved at eit plusshus produserer meir energi over levetida enn det som går med til produksjon av byggjevarer, drift, vedlikehald og riving av bygget (Enova 2012a).

Årleg oppvarmingsbehov definerast som netto energibehov til oppvarming (både romoppvarming og ventilasjonsoppvarming)

Installert oppvarmingseffekt vil seie den høgaste effekten oppvarmingssystemet treng for at bygget skal ha eit godt inneklima.

Primærenergibehovet er total levert energi multiplisert med ein faktor for kvar energiberar. I den tyske standarden er faktoren for el frå nettet 2,6, basert på at mykje av el-produksjonen kjem frå kol og andre fossile energiberarar. Verdien for el er omdiskutert og ettersom den norske marknaden vert knytt tettare til den kontinentale elmarknaden, kan det vera aktuelt å gi el ein større primærenergifaktor enn 1. Primærenergi kan beskrivast som energi som ikkje er foredla, til dømes ved, råolje eller kol. Ved produksjon av el eller fjernvarme skjer eit tap i forvandlinga av energien frå ei form til neste, ved transport og distribusjon. Dess større tap, dess større blir primærenergiforbruket. Primærenergiberekning er ikkje ein del av den norske passivhusstandarden.

NS: Norsk standard, standardiseringsorganisasjon for Noreg, som set standardar for produkt, dokument og system (Standard Norge 2015).

Standard: Standard dokument til felles og gjentatt bruk, framkomme ved konsensus og vedteke av eit anerkjent organ som gir regler, retningsliner eller kjenneteikn for aktivitetar eller resultata av dei for å oppnå optimal orden i ein gitt samanheng.

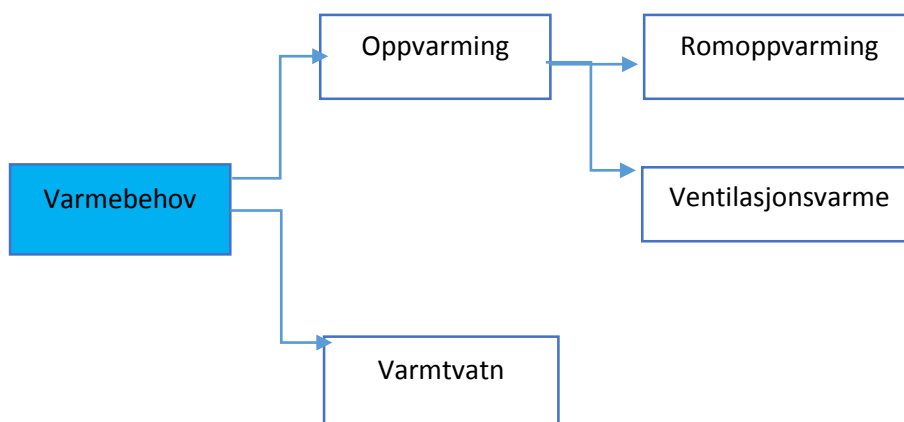
6.2 Passivhusstandard NS3701

Det er utarbeidd Norsk Standard for bustadhus NS 3700 og for næringsbygg NS 3701. Denne er basert på den tyske standarden, tilpassa norske forhold. Det er blant anna teke utgangspunkt i lokalklima, og har andre energikrav til bygg med årsmiddeltemperatur < 6,3°C (Standard Norge 2012).

Årsmiddeltemperaturen på 6,3°C representerer Oslo-klima. Med strenge krav til oppvarmingsbehov, 15 kWh/m²år, ville det vore svært kostbart å byggje passivhus i stork med langt lågare årsmiddeltemperatur. Kravet til oppvarmingsbehovet justerast difor etter lokalklimaet.

Varmetapstal er vesentleg i NS 3701. Dette er definert som samla tap av varme frå bygget til omgivnadene og uoppvarma soner. For skulebygg er dette 0,40 W/(m²*K).

Oppvarmingsbehovet er avhengig av lokalt klima, kvaliteten og storleiken på bygget. Eit bygg med kompakt bygningskropp vil ha mindre varmetap, men arkitektoniske og praktiske omsyn kan tale for mindre kompakte bygg, og det er difor lagt inn arealkoeffisient og klimakoeffisient slik at mindre kompakte bygg i kaldt klima kan gjennomførast. Oppvarmingsbehovet for skular som ligg i klimasone tilsvarande, eller varmare enn Oslo (årsmiddeltemperatur ≥ 6,3°C) etter passivhusstandarden er maks 20 kWh/m²år. Typisk for passivhus er at oppvarmingsbehovet til varmtvatn utgjør ein stor del av det totale oppvarmingsbehovet.



Figur 6.1: Skjematisk oversikt over oppvarmingsbehovet i ein bygning (etter NS 3701 2012).

Figur 6.1 visualiserer varmebehovet i eit bygg. Varmebehovet er summen av oppvarminga av vatn og oppvarminga av opphaldsrom. Behovet for romoppvarminga kan reduserast ved høg kvalitet på klimakonstruksjonen, men behovet for varmtvatn vil vera uavhengig av isolasjonseffekten i klimakonstruksjonen.

Krav til bygningsdelar: For at bygningen skal bli mest mogleg energieffektiv stiller NS 3701 ei rekkje krav til bygningsdelar, lekkasjetal, system og komponentar. Nedanfor er det ein samanlikning av krava til passivhus, samanlikna med dagens minstekrav til bygg (Tek -10).

Tabell 6.2 Samanlikning av mistekrav til passivhus og Tek-10

Eigenskap	Passivhus, yrkjesbygg	Tek 10 minimumskrav
U-verdi yttervegg	$\leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	$\leq 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
U-verdi tak	$\leq 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	$\leq 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
U-verdi golv	$\leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	$\leq 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
U-verdi vindaug	$\leq 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	$\leq 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
U-verdi dør	$\leq 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	$\leq 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
Normalisert kuldebruverdi Ψ	$\leq 0,03 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	$\leq 0,06 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
Årsgjennomsnittleg temperaturverkningsgrad for varmegjenvinning	$\geq 80\%$	$\geq 70-80\%$
SFP-faktor ventilasjonsanlegg	$\leq 1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$	$\leq 2-2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$
Lekkasjetal ved 50 Pa, n50	$\leq 0,60 \text{ h}^{-1}$	$\leq 3,0 \text{ h}^{-1}$

Tabell 6.2 viser at krava til passivhus er vesentleg skjerpa i høve til krava til hus bygd etter Byggteknisk forskrift frå 2010 (TEK10). Passivhusstandarden tillater at ytterveggen har eit varmetap på 68% av ein yttervegg bygd etter TEK10. Særleg er lekkasjefaktoren skjerpa, då dette er viktig for å hindre at kald luft siver inn og kjøler ned konstruksjonen.

Krav til energiyting: Det er krav til maksimalt CO₂ utslepp per kvadratmeter i passivhusstandarden (NS 3701/ Dokka et. al 2009). For å berekne dette er det utarbeid ein standard CO₂ utslepp for ulike energivarer. Det er vidare sett krav til at 40 % av varmebehovet (oppvarming +tappevatn) skal dekkast av fornybar energi. Berekninga av CO₂ utsleppet skal gjerast på grunnlag av total levert energi, ikkje berre utifrå varmebehovet.

Tabell 6.3: Høgaste tillatne CO₂ utslepp per m² for ulike bygg (Dokka et. al 2009)

Bygningskategori	CO ₂ utslepp kg/(m ² *år)
Barnehage	20
Kontorbygg	25
Skulebygg	20
Universitet og høgskulebygg	30
Sjukehus	60
Sjukeheim	45
Hotell	40
Idrettsbygg	30
Forretningsbygg	40
Kulturbygg	25
Lett industri, verkstad	25

Tabell 6.3 gjenspeglar at ulike bygg har ulike behov for utstyr, maskinar, belysning, oppvarming og liknande. Ettersom tabellen viser CO₂ emisjon av total levert energi, kan ein ved å redusere utslepp frå oppvarming til eit minimum gi rom for meir teknisk utstyr.

Tabell 6.4: Faktorar som nyttast til berekning av CO₂ utslepp.

Energivare	CO ₂ faktor (g/kWh)
Biobrensel	14
Fjernvarme	231
Fossil gass	211
Olje	284
El frå nettet	395

CO₂ faktoren i denne og andre tabellar er det same som GWP. I følgje tabell 6.4 gir el frå nettet eit CO₂ utslepp på heile 395 gram per forbrukt kilowattime. Dette talet er basert på europeisk el-produksjon, som i stor grad er basert på kolkraftverk.

K: Klimaskalkonstruksjon som yttervegg, tak, golv mot kald område, vindaug og dør i yttervegg.
(Sintef/Rambøll 2013 og Lavenergi programet u/å)

Kuldebru: Er eit punkt i bygningskroppen som har svakare isolasjonseffekt enn elles i bygget.

Lekkasjetal: Er definert som tal luftutskiftingar per time ved ein trykkskilnad på 50 Pa mellom innvendig og utvendig side av klimakonstruksjonen.

U-verdi: Er eit tal som viser varmegjennomgangen i ein bygningsdel. Talet viser varmegjennomgangen per m² ved ein temperaturskilnad på 1° C frå luft til luft over bygningsdelen. U-verdien karakteriserer bygningens varmeisolasjonsevne, uttrykt som W/m²C (Thue 2009).

SFP-faktor: Specific fan power, dette beskriver viftas effektforbruk i forhold til levert luftmengde (Wikipedia 2015).

Energiforsyning: Det er eit mål at mest mogleg av energien kjem frå fornybare kjelder. Fornybare kjelder er her definert som andre energikjelder enn fossile og el (frå nettet). I passivhusstandarden for bustadhus, NS 3700, er kravet sett til at energi tilsvarande minst 50% av energiforbruket til varmtvatn skal vera bassert på fornybare kjelder. Dette stimulerer til installasjon av solfangarar, varmepumpe, bioenergianlegg eller tilknytning til fjernvarme.

Levert energi: Rambøll (2013) anbefaler i rapporten «Energiregler 2015. Forslag til endringer i TEK for nybygg» korreksjonsfaktorar for ulike energivarer. Dei set korreksjonsfaktoren til 1,0 for el, 0,42 for fjernvarme og 0,37 for bioenergi. Men tilrårer samstundes at dette undersøkast nærmare.

GWP: Global warming potential. Potensiell klimapåverknad eller drivhuseffekt, målt i karbondioksid ekvivalentar (kgCO₂eq).

6.3 Energisimulering

Det er krav i passivhusstandarden at det skal utarbeidast ein rapport som bereknar energibehovet. Det er utarbeidd ein metode for dette i NS 3031. Metoden gjev ein oversikt over energibruken i bygget, og ein kan lese ut kva endra føresetningar gjev av utslag. Ved energisimuleringar kan ein optimalisere bygget med tanke på økonomi, energiutgifter, CO₂ belastning og komfort.

I denne oppgåva har eg nytta energiberekningsprogrammet SIMIEN. Programmet gjev høve til simuleringar av tilstanden i bygningar. Bruksområdet er evaluering mot byggeforskrifter, energimerking, berekning av energibehov, validering av inn klima og dimensjonering av oppvarmingsanlegg, ventilasjonsanlegg og romkjøling (Programbyggerne.no u/å).

6.4 Livssyklusanalyse LCA

I ein LCA ser ein på heile verdikjeda for eit produkt, frå «vogge til grav». Faktorane for CO₂ ekvivalentar i dei ulike energiberarane er basert på ei LCA, der heile historia til produktet er tatt med i rekneskapen. Tradisjonelt er bioenergi rekna for «klimanøytral» sidan karbonet som frigjerast ved

forbrenning er det same som planta har bunde under voksteren. Men ein LCA avdekkjer at det krevjast «tilleggsenergi» til høsting, transport og foredling, som og må reknast inn i klimarekneskapen (Otterlei 2014).

7 Metode

Metoden i denne oppgåva er basert på dataprogrammet SIMIEN. Programmet er utvikla for å energiberekne bygg. I programmet er det lagt inn data for energiløysingar, varmetransmisjon, lekkasje, solinnstråling og anna som kan påverke byggets energibehov. Denne bacheloroppgåva nyttar dei same data som er i rapporten «Klimagassberegning Frydenhaug skole». Energiberekninga som ligg til grunn for «klimagassberegning Frydenhaug skole» er også gjort i dataprogrammet SIMIEN. Her er heile byggets kvalitet, volum, areal, energiløysing, tilskot frå sol og internlaster lagt inn (bortsett frå terapibassenget og dusjanlegget). Bygget er rekna som ei eining, og ikkje delt opp i soner (Amundsen 2014). Dei same verdiar og dataverkty er nytta i denne oppgåva, med andre verdiar for energiløysinga.

7.1 Tilført energi

Tilført energi, også kalla innfyrt energi, er eit omgrep som syner til energiinnhaldet i den energiberaren som ein nyttar i prosessen. Det vil vera eit visst tap i prosessen frå varmeproduksjonen til levert varme i bygget. Tilført energi vil derfor vere større enn levert energi i bygget. Metoden for å berekne dette er å kalkulere tap i overføringa av varmen og i forbrenningseffektivitet

7.2 Produsert energi

Produsert energi er den energien som går ut av varmeanlegget. Produsert energi vil vera mindre eller større enn levert energi på grunn av tap i forbrenninga og verknadsgraden. Verknadsgraden er eit mål på tapt energi frå tilført til produsert. I denne oppgåva er det nytta ein produksjonsverknadsgrad på 0,96 for el, 0,70 for bioenergi, 40 for solfangar og 3,50 for varmpumpe. For solfangar er verknadsgraden eit mål på mengda solenergi som kan nyttast til varmeproduksjon i høve til den solenergien som råkar solfangaren. For varmpumpe er dette eit mål på tilhøvet mellom energi inn i varmpumpa, og effekt ut i systemet.

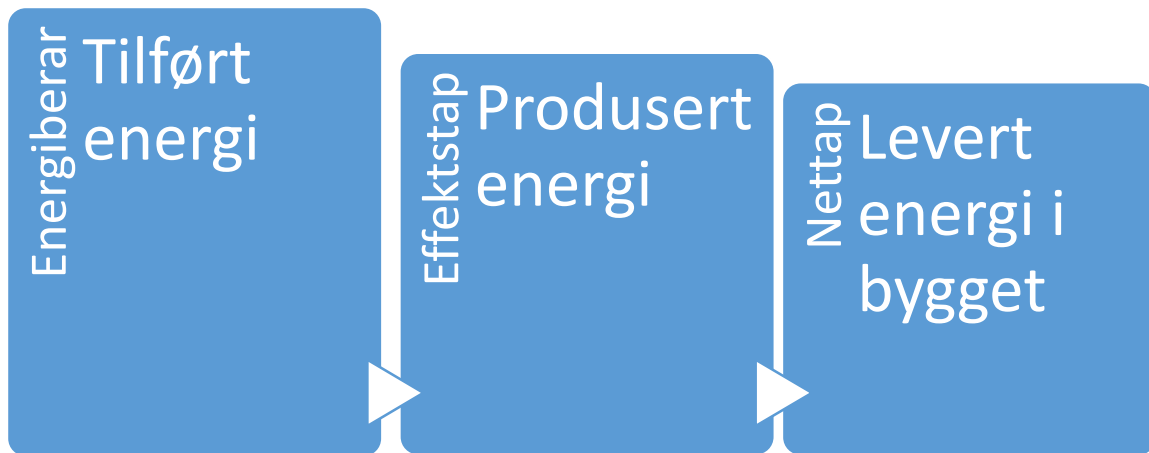
7.3 Levert energi

Overføringa av varme frå ein varmesentral til det rommet der varmen skal brukast medfører eit visst tap. Levert energi er den energien kunden (bygget) mottar som nyttast til oppvarming. Dette

omgrepet må ikkje blandast saman med omgrepet «*levert energi*» i ordskiftet om passivhusstandarden, som er ein faktor for å stimulere til fornybar energi.

7.4 Systemverknadsgrad

Total systemverknadsgrad er eit tal på kor mykje av tilført energi som kan nyttast av kunden i det rommet som skal oppvarmast. I denne oppgåva er systemverknadsgraden for el 0,81, for bioenergi 0,60, for solfangar 9 og for varmpumpe 3,5 (standard Norge 2014).

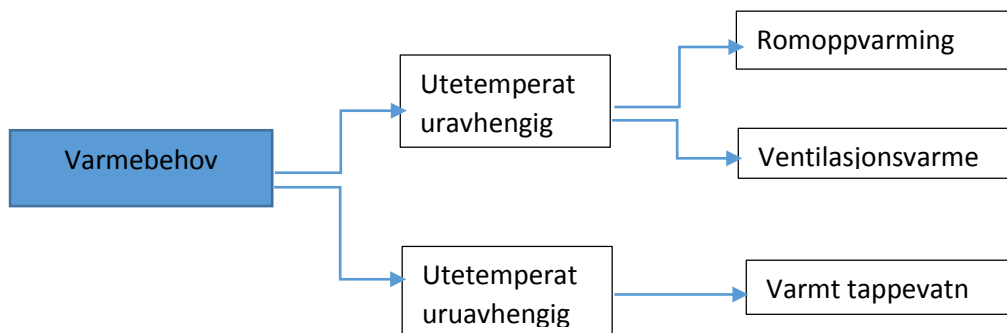


Figur 7.1: Skjematisk framstilling av energitap fram til kunde. Figuren viser ulike tap i energikjeda, frå tilført energi til varmesentral, effekttapet i varmeproduksjon, og nettapet i distribusjonen.

7.5 Romoppvarming

Netto energibehov til romoppvarming avgjerast av klimaskalets (vegg, golv og tak) isolasjonseffekt. Dette kan delast opp i *termisk transmisjon*, som målast i U-verdi (W/m^2K), *infiltrasjon*, kald luft som trengjer igjennom klimakonstruksjonen og kjøler ned rommet, og *ventilasjonstap*, tap av varm luft gjennom ventilasjon og utette konstruksjonar. I tillegg kjem varme avgitt av belysning, varmtvatn, personar og elektriske apparat, *internlastar*, og *solinnstråling*.

Oppvarmingsbehovet kan delast opp i utetemperaturavhengige og utetemperaturuavhengige:



Figur 7.2 skjematisk oversikt over varmebehovet. Behovet for varmt tappevatn er konstant, medan oppvarmingsbehovet er avhengig av utetemperaturen.

Varmeeffektbehovet kan skrivast som ei likning, der effektbehovet bestemast av ein konstant faktor, K , og ønskt innetemperatur minus utetemperatur:

Formel 7. 1:

$$\phi = K(t_{inne} - t_{ute})$$

Der:

ϕ = Dimensjonerande varmeeffekt

K = Konstant

t_{inne} = Temperatur inne

t_{ute} = Temperatur ute

(Stene og Smegård 2013)

Den konstante faktoren, K , er eit resultat av byggets totale kvalitet (U-verdi), lufttettleik, areal, volum og plassering i terrenget. Utetemperaturen skal dimensjonerast etter klimasone, kalla klimasted i SIMIEN-programmet. I denne oppgåva er dimensjonerande utetemperatur (DUT) for Frydenhaug skole - 20° C. Dette er basert på lågaste 3-døgns middeltemperatur frå siste normalperiode. Minimum utetemperatur er -24,7°C. Innetemperaturen er 21/19°C. Når ein har kalkulert byggets kvalitet i alle dets element (golv, vegg, tak, vindaug/dør, kuldebru, vindsperre osv) multiplisert med volum og areal, lagt til internlaster og solinnstråling, kan ein gjera energiberekningar for bygget.

7.6 Investeringsanalyse

For å analysere økonomien i tiltaka har eg brukt noverdianalyse. Det vil seie å analysere dagens verdi av framtidige energiutgifter. Formel 7.2 for noverdi er henta frå support.office.com

Formel 7.2

$$NNP = \sum_{i=1}^n \frac{values}{(1+rate)^i}$$

Der NNP = Nettonoverdi

Formelen kan også uttrykkes slik (Bjørklund 2012):

Likning 7.3

$$NV = B \cdot \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} - I_0$$

NV = Noverdi

B = Årleg netto besparing

r = Kalkulasjonsrente

I = Investering

Formelen vil gi summen av besparinga diskontert i anleggets levetid minus investeringa.

Investeringa er i år 0 (2014), og er ikkje diskontert. Kontantstraumen for besparinga står med negative verdiar, investeringa med positive. Om noverdien blir negativ, er investeringa lønsam. Sidan energiprisen er variabel, er kvart år rekna for seg, basert på ein utvikling av el prisen på 3,33% årleg, tilsvarande ein dobling på 30 år. Det er berekna at bioenergiprisen utviklar seg gunstigare for kjøparen, med 1,66% i året, eller 50% på 30 år (pers. med. Hillring 2015). Besparinga er målt opp i mot oppvarming basert på el frå nettet i tillegg til solfangaranlegget. Risikojustert kalkulasjonsrente er sett til 4 %, det same som staten nyttar for sine samfunnsøkonomiske analyser (Finansdepartementet 2014). Det er også laga ein analyse med større krav til avkastning på 5 %.

8 Oppvarmingsmetode

8.1 Varmepumpe på bergvarme

Bergvarme hentar varme frå lagra solenergi i berggrunnen under tomta. Varmeenergi hentast via ein kollektorlslange i berggrunnen. Ein varmevekslar hevar temperaturen og varmen kan avgis som romoppvarming gjennom vatnbåre varmeanlegg. Bergvarme kan også brukast til kjøling ved behov. Varmevekslinga har ein typisk effekt på 3,5, det vil seie at om ein brukar 1 kWh i varmevekslaren får ein 3,5 kWh i anlegget. Eit slikt anlegg må reknast som ein stor investering (Enova 2012b).

8.2 Solfangaranlegg

Eit solfangaranlegg utnyttar varmeenergien frå sola direkte. Panel stillast opp på taket eller integrert i fasaden, eksponert for mest mogleg sol, gjerne med ein hellingsgrad på 30-40 grader. Gjennom

panela renn det væske som avgir varme til oppvarming av tappevatn. Delar av overskotsvarme kan lagrast i grunnen ved kombinasjon med bergvarmeanlegg (Andrèn et. al. 2012, Enova 2012c).

8.3 Biobrensel

Skifte frå fossile energibærarar til bioenergi reknast av mange som eit viktig tiltak for å redusere klimagassutsleppa (Karlsen og Bergh 2014). Biobrensel kan definerast som materiale som har sitt opphav i pågåande biologiske prosessar, i motsetning til fossil energi som er danna av biologiske prosessar i eit anna stadium av jordas geologiske historie. Biologisk materiale med høgt energiinnhald er ettertrakta, og energimarknaden konkurrerer med andre marknader om det same materialet. Landbruksvekstar kan nyttast til både mat og energiproduksjon, og tømmer er råvare både for bygningsmateriale, papirproduksjon og energiformål. Det er difor mest aktuelt å nytta avfall frå annan produksjon til energiformål.

Bioenergi er i teorien klimanøytral, ved at ein gjennom forbrenning frigjer det same karbonet som er bunde i det biologiske materialet gjennom fotosyntesen. Under føresetning av at ein syt for gjenvekst av hausta biologisk materiale, kan ein seie at forbruk av bioenergi ikkje påverkar CO₂ innhaldet i atmosfæren, ettersom karbonet uansett vil frigjerast når materiale brytast ned (Eid Holthe 2001/ Hillring og Olsson 2007).

Det krevjast ein viss «hjelpeenergi» for å odle og hauste bioenergien. Uttak av avfallsprodukt frå skogavverking krev ein innsatsenergi på mellom 3 og 5 prosent av energiinnhaldet i produktet, avhengig av transportlengda (Börjesson 2007). I tillegg frigjerast det små mengder av drivhusgassane C₄H og N₂O ved forbrenning. Det er utarbeidd standardiserte verdiar for CO₂ ekvivalentar for energimiksen i norsk (Otterlei 2014) og svensk fjernvarme (Gode et. al 2011).

8.3.1 Flis

Flis til bioenergiformål kan komme frå mange kjelder. Både restprodukt frå trebearbeidande industri, returtrevyrke frå bygg og anleggsbransjen og rest eller overskotsprodukt frå skognæringa omsetjast som flis og nyttast til energiformål. Fleire tilbydarar finst lokalt, blant anna Viken Skog. Drammen kommune har eigne kommuneskogar, og det kan levere råvarer sjølv (per. med. Andersen 2015). Flis kan ha ujamn kvalitet, basert på råvaras energi og fuktigheitsinnhald. Skogflis kan produserast frå GROT (greiner og toppar), tynningsvyrke, stubbar eller stammevyrke frå tømmer med låg kvalitet. Värmeforsk oppgir at skogflis, som inneheld både GROT og stammevyrke, har eit fuktinnhald på 40% og eit energiinnhald på 2138 kWh/fm³. Verkingsgraden i eit 10 MW anlegg er sett til 80%. CO₂ ekvivalentar per kWh er sett til 8,61 gram (Gode et. al. 2011, Aalerud 2012). Norsk fjernvarme oppgir at skogflis har eit utslepp på 18 g CO₂ eq/kWh fordelt på 9 g CO₂eq/kWh i produksjon og 9 g CO₂eq/kWh i forbrenninga. Returflis (RT- flis) er har eit lågare CO₂ utslepp på 12 g CO₂eq/kWh

(Otterlei 2014). Denne rapporten brukar 14 g CO₂ ep/kWh, ettersom dette er standardverdien Sintef rapport 42, lagt inn i dataprogrammet SIMIEN, som er nytta til energiberekning. Prisen for skogflis med 30% fuktinnhald er sett til 21 øre/kWh, ferdig levert ved fyringssentral på skulen (pers med. Grimsrud 2015).

8.3.2 Pellets

Pellets er biobrensel komprimert eller pressa til små sylindrar eller rektangel. Diameteren er < 20 mm. Pellets kan produserast av fleire ulike råstoff, men vanleg er skogflis eller flis frå treforedlingsindustri (sagbruk). Pellets vert rekna som foredla bioenergi. Pellets er kunstig turka og har eit fuktinnhald på 8 %. Dette fører til at pellets har ein høgare primærenergiverdi og større klimagassemission. Norsk fjernvarme bereknar klimagassutslepp frå pellets og trepulver til 18 g CO₂ eq/kWh (Otterlei 2014).

8.3.3 Brikettar

Brikettar er samanpressa flis i kompakte einingar. Sylindrerforma, med diameter > 25 mm. Typisk 55-75 mm. Klimagassutsleppa er berekna til 21 g CO₂ eq/kWh (Otterlei 2014).

8.3.4 Biogass

Biogass er gass frå biologisk materiale. Materialet nedbrytast anaerobt, og dannar metan, CH₄. Det kan kommersielt utvinnast biogass frå husdyrgjødsel, avløpsslam, husholdningsavfall, skogsråstoff eller restar frå næringsmiddelindustrien. Sidan CH₄ er ein potent drivhusgass blir biogass også samla opp frå eldre avfallsanlegg. Reinsa biogass kan nyttast som erstatning for naturgass og eller diesel. Biogass kan erstatte fossile energiberarar i transportsektoren, som kan bidra til at Noreg når sine internasjonale forplikingar om reduksjon av CO₂ utslepp og overgang til fornybare energiberarar i denne sektoren (Fornybardirektivet, 2009/28/EC). Bruk av biogass til transport vil gje større måloppnåing etter dette direktivet enn brukt i varmeproduksjon (Klima og forurensingsdirektoratet 2013).

8.4 El frå nettet

El frå nettet i Noreg er tradisjonelt rekna til å ha 0 klimagassutslepp, basert på at innanlandsk produksjon av el for det meste skjer gjennom turbinar drivne av vasskraft. Det er imidlertid store investeringar i infrastruktur med dammar og tunnellar som har ein stor klimapåverknad, som og må tas med i reknestykket. Noreg er etter kvart knytt tettare til den nordiske kraftmarknaden, med ein sams kraftbørs, og ein del av den forbrukte el i Noreg kjem difor frå andre nordiske land. I Sverige er kraftproduksjonen basert på to energiberarar; kjernekraft og vasskraft. Både svensk og norsk kraftproduksjon er avhengig av den hydrologiske balansen, med variasjon i kraftproduksjonen i takt med årleg nedbør. Danmark får det meste av sin elektrisitet frå fossile energiberarar, med dei store

miljømessige utfordringane dette medfører. Finland satsar i større grad på kjernekraft, men har innslag av vasskraft og tradisjonell varmekraft. Den nordiske kraftmarknaden er igjen knytt til kontinental-Europa og Russland, og importerer kraft i periodar med underskot (Løseth 2008).

El frå nettet lyt difor ha ein CO₂ ekvivalent høgare enn 0. Denne oppgåva nyttar standarden til Future Built på 395 CO₂eq g/kWh (Dokka et.al.2009). Denne er basert på ein europeisk energimiks. Denne faktoren er forventa å søkke i tida framover, basert på vedtatt politikk i EU. I dei mest optimistiske senarioa skal el forsyninga i EU vera tilnærma karbonnøytral i 2050 (Graabak, Feilberg 2011). I denne oppgåva er det berekna ein pris per kWh på 80 øre/kWh.

8.9 Kjølemedie til varmepumpe

Varmepumper inneheld kjølemedie for varmeveksling. Dette kan vere væske eller gass med potensielt stor klimaeffekt. Norsk fjernvarme tilrår desse faktorane for kjølemedie.

Tabell 8.1 GWP for kjølemedie,

Kjølemedie	GWP
R – 134a	1430
Ammoniakk	0
R - 407a	2107
CO ₂	1

Tabell 8.1 syner at somme kjølemedie er svært potente drivhusgassar. R – 407a har ein GWP på over 2100, det vil seie at utslepp av 1 kg R-407a tilsvarar utslepp av meir enn 2,1 tonn CO₂.

9 Resultat

Resultatet av energiberekninga viser at det ikkje er store skilnader i energipris mellom «Dagens skule» og «Alternativ bio», derimot er det ein viss skilnad i CO₂ utslepp. «Alternativ bio» har eit klimagassutslepp på 64904 kg, som gir 13,3 kg CO₂eq/m² medan «Dagens skule» har eit klimagassutslepp på 74289 kg, eller 15,2 kg CO₂eq/m². Begge alternativa er tilfredsstillende kravet på 20 kg CO₂eq/m² med god margin.

I tabell 9.1 presenterast energibudsjettet for Frydenhaug skole. Dette er ein oversikt over kva bygget har behov for av energi til ulike energipostar. Energibudsjettet vil vera likt for begge varmeløysingane.

Tabell 9.1 Energibudsjett for Frydenhaug skole

Energipost	Energibehov per år	Spesifikt energibehov per år
1a Romoppvarming	49042 kWh/år	10,0 kWh/m ² /år
1b Ventilasjonsvarme (varmebatteri)	21391 kWh/år	4,4 kWh/m ² /år
2 Varmtvatn (tappevatn)	49228 kWh/år	10,1 kWh/m ² /år
3a Vifter	42663 kWh/år	8,7 kWh/m ² /år
3b Pumper	5089 kWh/år	1,0 kWh/m ² /år
4 Belysning	48160 kWh/år	9,9 kWh/m ² /år
5 Teknisk utstyr	43196 kWh/år	8,8 kWh/m ² /år
6a Romkjøling	0	0
6b Ventilasjonskjøling	0	0
Total netto energibehov sum	258770 kWh/år	53,0 kWh/m ² /år

Energibudsjettet i tabell 9.1 viser eit totalt årleg energibehov på 53 kilowattimar per kvadratmeter, og berre 10 kilowattimar per kvadratmeter til romoppvarming. Dette er svært lite samanlikna med referansebygget i FuturBuiltrapporten med årleg energibehov på 123 kWh/m², og tilsvarar ein reduksjon på 57%.

For levert energi til bygningen vil det vera ein skilnad mellom alternativa, basert på ulike energiforsyningar:

Tabell 9.2 Levert energi til bygningen, «Alternativ bio»

Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
Direkte el	156311 kWh	32,0 kWh/m ²
El varmepumpe	0 kWh	0 kWh/m ²
El solenergi	4376 kWh	0,9 kWh/m ²
Biobrensel	102320 kWh	20,9 kWh/m ²
Totalt levert energi	263006 kWh	53,8 kWh/m ²

Tabell 9.2 viser at totalt levert energi til skulen blir 53,8 kW/h per kvadratmeter om ein baserer oppvarminga på biobrensel og solfangarar.

Tabell 9.3 Levert energi til bygningen, «Dagens skule»

Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
Direkte el	167599 kWh	32,0 kWh/m ²
El varmpumpe	16099 kWh	3,3 kWh/m ²
El solenergi	4376 kWh	0,9 kWh/m ²
Biobrensel	0 kWh	0 kWh/m ²
Totalt levert energi	188074 kWh	38,5 kWh/m ²

Tabell 9.3 viser at «Dagens skule» treng 38,5 kW/h per kvadratmeter årleg i levert energi. Talet er lågare enn i tabell 9.2 på grunn av effekten av varmpumpa.

Tabell 9.4 Årleg utslepp av CO₂, «Alternativ bio»

Energivare	Utslepp av CO ₂	Spesifikt utslepp
Direkte el	61743 kg	12,6 kg/m ²
El varmpumpe	0 kg	0 kg/m ²
El solenergi	1728 kg	0,4 kg/m ²
Biobrensel	1432 kg	0,3 kg/m ²
Totale utslepp	64904 kg	13,3 kg/m ²

Tabell 9.4 viser at om Frydenhaug skole var oppvarma med bioenergi, ville det resultert i eit årleg utslepp av CO₂ med nesten 65 000 kg, eller 13,3 kg per kvadratmeter.

Tabell 9.5 Årlege utslepp av CO₂, «Dagens skule»

Energivare	Utslepp av CO ₂	Spesifikt utslepp
Direkte el	66202 kg	13,5 kg/m ²
El varmpumpe	6359 kg	1,3 kg/m ²
El solenergi	1728 kg	0,4 kg/m ²
Biobrensel	0 kg	0 kg/m ²
Totale utslepp	74289 kg	15,2 kg/m ²

Tabell 9.5 viser at dagens oppvarmingssystem på Frydenhaug Skole gir eit årleg utslepp av over 74 000 kg CO₂, eller 15,2 kg per kvadratmeter. Dette er 9385 kg, 14,5% meir enn «Alternativ bio». Til samanlikning vil eit einebustad med årsforbruk av 25 000 kW/h el har eit CO₂ utslepp på 9875 kg.

Tabell 9.6 Kostnad kjøpt energi, «Alternativ bio»

Energivare	Energikostnad	Spesifikk energikostnad
Direkte el	125049 kr	25,6 kr/m ²
El varmpumpe	0 kr	0 kr/m ²
El solenergi	3501 kr	0,7 kr/m ²
Biobrensel	21487 kr	4,4 kr/m ²
Årleg energikostnad	150036 kr	30,7 kr/m ²

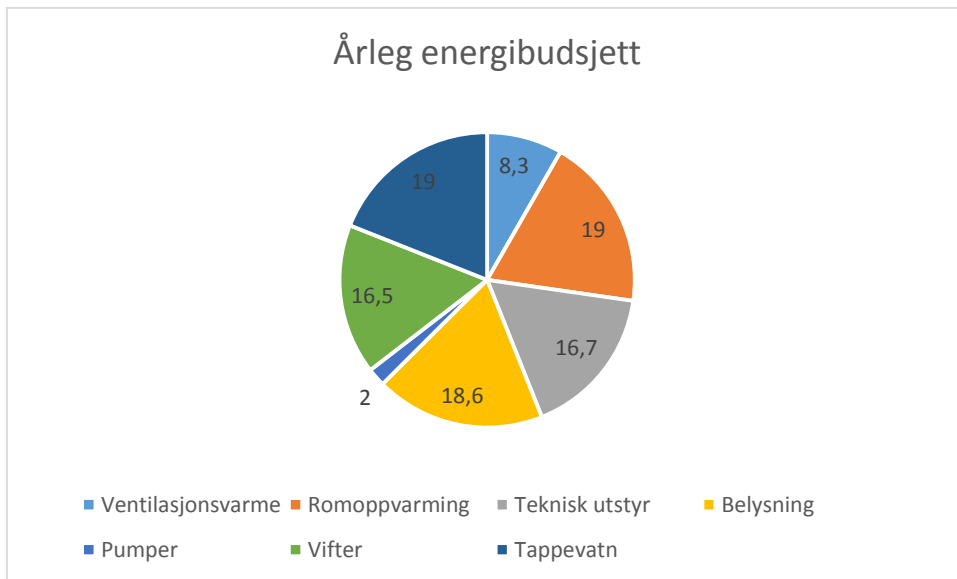
Tabell 9.6 viser at energikostnaden for all kjøpt energi i «Alternativ bio» blir ca 150 000 kr. Dette talet er basert på ein energipris for el på 0,8 kr/kW/h og for 0,21kr/KW/h for bioenergi.

Tabell 9.7 Kostnad kjøpt energi, «Dagens skule»

Energivare	Energikostnad	Spesifikk energikostnad
Direkte el	134079 kr	27,4 kr/m ²
El varmpumpe	12879 kr	2,6 kr/m ²
El solenergi	3501 kr	0,7 kr/m ²
Biobrensel	0 kr	0 kr/m ²
Årleg energikostnad	150459 kr	30,8 kr/m ²

I tabell 9.7 går det fram at energikostnaden er med dagens oppvarmingssystem er tilsvarande energikostnaden i «Alternativ bio».

I eit skulebygg med passivhusstandard vil ein forholdsvis liten del av energiforbruket gå til romoppvarming. Årleg vil 27,3 % av samla energibudsjett gå med til dette føremålet. 19 % av energibudsjettet går til tappevatn, der 80 % er dekt med solfangarar i begge alternativa. Resterande 20% er dekt med bioenergi i «Alternativ bio», medan dette er dekt av el i «Dagens skule».



Figur 9.1: Energibudsjett Frydenhaug skole. 27% av energien går til romoppvarming, 19% til vatnvarming og resten til tekniske installasjonar.

9.2 Investeringsanalyse og berekninga av lønsemd

Investeringskostnaden for varmepumpe, fjellboring og vatnbehandling er ikkje tilgjengeleg for denne oppgåva av konkurranseomsyn. Det vil vera ein stor investering og i følgje entreprenøren (pers. med. Rise, 2015 b) vil de ligge på 2-2,5 millionar kroner. Levetida for eit slikt anlegg er berekna til 25 år ([Thermia 2015](#)). Slike investeringar kan også utløyse støtte frå Enova, men offentleg støtte er ikkje teke med her.

Tilsvarande anlegg for flisfyring vil vera billigare. Pris for fliskjel, spisslastkjel er berekna til ca 385 000 kr. For komplett anlegg med skorstein, flislager matingsystem og kjel i frittstående containrar er prisen berekna til 1,6 millionar kroner (Brennum 2015 pers. med). Levetida er tilsvarande som for varmepumpa.

Levetida for anlegget kan forlengast ved å byggje robuste anlegg med jamn last og få start/ stopp. Bidrag frå solenergi i oppvarminga av tappevatn, vil gje mindre behov for varmepumpe/biokjel i sommarhalvåret. Levetida for anlegget er difor sett til 26 år (2015-2040).

Avkastningskravet for investeringa kan diskuterast. I tabellen nedanfor presenterast to avkastningskrav 4% og 5%.

Tabell 9.8 Noverdi kontantstraum og investering

	Alternativ bio 5%	Dagens skule 5%	Alternativ bio 4%	Dagens skule 4%
Investering	kr 1 600 000,00	kr 2 500 000,00	kr 1 600 000,00	kr 2 500 000,00
Noverdi kontantstraum	kr -770 092,63	kr -711 344,95	kr -869 234,20	kr -800 909,02
Noverdi kontantstraum - investering	kr 829 907,37	kr 1 788 655,05	kr 730 765,80	kr 1 699 090,98

Tabell 9.8 viser dagens verdi av framtidige inntekter (kontantstraum) med ulike rente i 26 år. Sidan vi reknar med at energiprisen utviklar seg, er kontantstraumen rekna ut for kvart år.

Samanlikning av energiløysinga i «Dagens skule» med «Alternativ bio» viser at ei investering i bioenergianlegg vil vera mindre ulønsamt enn investering i varmpumpe med bergvarme. Noverdien for investeringa i bergvarme og varmpumpe som er vald i dagens skule er ulønsam, og har ein negativ noverdi på om lag 1 700 000 kr med eit avkastningskrav på 4 %. Med 5 % avkastningskrav blir noverdien forverra med om lag 89 000 kr. Tilsvarande for bioenergi vil vera negative verdiar på om lag 830 000 kr og om lag 731 000 kr. Den store skilnaden i noverdi kan i hovudsak forklarast med høgare investering for bergvarme/varmpumpe. Meir gunstig utvikling av bioenergi pris, og lågare forbruk av el gir om lag 8% større verdi til kontantstraumen for «Alternativ bio».

10 Framskrivning 30 år

Det vil vera vanskeleg å føreseie den europeiske kraftmarknaden framover. Imidlertid vil ein utfasing av fossile energibærarar i kraftproduksjonen og innføring av CO₂ prising, samstundes som Sverige og Tyskland vil stenge ned delar av kjernekraftproduksjonen føre til større etterspurnad etter kraft med grøne sertifikat. Dette vil føre til eit prispress på norsk el, samstundes som overføringsnett til kontinentet utbyggjast, og den norske kraftmarknaden vert meir integrert i den europeiske (Rennesund 2015). Ein kan gå utifrå at prisen på el vil stige, men at klimapåverknaden av el vil minke i løpet av byggets levetid. Korleis prisen på skogflis vil utvikle seg er uvisst. Tilbodet på bioenergi vil stige i tråd med næringspolitiske verkemiddel, og auka avverking av skog i Noreg. Auka avverking av skog kan i seg sjølv føre til at prisen på bioenergi frå restprodukt frå skogdrifta går ned, men saman med energipolitiske verkemiddel og mogning av marknaden, kan ein forvente at prisen på skogflis til ein viss grad følger utviklinga av el-prisen.

Eg har difor laga ein analyse av eit tenkt senario med to alternativ, «Dagens skule +30», og «Alternativ bio +30» 30 år fram, der utsleppa frå el produksjon er 132 gCO₂eq/kWh, el prisen er 160

øre/kWh, prisen for skogflis er 31,5 øre/kWh (100% og 50% auke frå dagens pris) og prisen på gass er den same som for el. Gass (50% biogass og 50% naturgass) erstattar el som spisslast i «Alternativ bio+30». Elles er føresetnadane dei same som «Alternativ bio» og «Dagens skule».

Energibudsjettet vil vera likt som for «Dagens skule», levert energi vil vera likt for «Dagens skule» og «Dagens skule+30», medan levert energi til «Alternativ bio+30» vil vera ulik «Alternativ bio» på grunn av gass som spisslast:

Tabell 10.1 Levert energi til bygningen, «Alternativ bio+30»

Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
Direkte el	139108 kWh	28,5 kWh/m ²
El varmpumpe	0 kWh	0 kWh/m ²
El solenergi	4376 kWh	0,9 kWh/m ²
Gass	17608 kWh	3,6 kWh/m ²
Biobrensel	102320 kWh	20,9 kWh/m ²
Totalt levert energi	263412 kWh	53,9 kWh/m ²

Tabell 10.1 syner at totalt levert energi vil auke marginalt i «Alternativ bio+30» i høve til «Alternativ bio», 53,8 kWh/m² mot 53,9 kWh/m², på grunn av at gass har lågare systemverknadsgrad (0,73) enn el (0,81).

For CO₂ rekneskapen vil det vera vesentlege endringar, basert på at klimagassutsleppa frå el produksjon er redusert frå 395 g CO₂eq/kWh til framtidens 132 g CO₂eq/kWh. Og at spisslasten i «Alternativ bio+30» er skifta frå el til 50/50% biogass/naturgass. Truleg burde det vore lagt inn ein forbetring av verknadsgraden for fliskjelen frå 0,60 i «Alternativ bio», og ein forbetring av effekten på varmpumpa frå 3,5 i «Dagens skule» men dette er ikkje gjort på grunn av usikkerheit knytt til framtidig teknologiutvikling.

Tabell 10.2 Årleg utslepp av CO₂, «Alternativ bio+30»

Energivare	Utslepp av CO ₂	Spesifikt utslepp
Direkte el	18362 kg	3,8 kg/m ²
El varmpumpe	0 kg	0 kg/m ²
El solenergi	578 kg	0,1 kg/m ²
Gass	1849 kg	0,4 kg/m ²
Biobrensel	1432 kg	0,3 kg/m ²
Totale utslepp	22221 kg	4,5 kg/m ²

Av tabell 10.2 kan vi sjå at totale utslepp av CO₂ blir 22 221 kg i «Alternativ bio +30», dette er 42 685 kg mindre enn CO₂ utsleppa frå «Alternativ bio» i dag. I hovudsak kjem reduksjonen som ein følge av ein annan CO₂ faktor for el frå nettet.

Tabell 10.3 Årlege utslepp av CO₂, «Dagens skule+30»

Energivare	Utslepp av CO ₂	Spesifikt utslepp
Direkte el	22123 kg	4,5 kg/m ²
El varmpumpe	2125 kg	1,3 kg/m ²
El solenergi	578 kg	0,1 kg/m ²
Gass	0 kg	0 kg/m ²
Biobrensel	0 kg	0 kg/m ²
Totale utslepp	24826 kg	5,1 kg/m ²

I tabell 10.3 går det fram at utslepp av CO₂ blir 24 826 kg i «Dagens skule+30». Reduksjonen samanlikna med «Dagens skule» blir 40 080 kg. Reduksjonen er ein konsekvens av at CO₂ faktoren på el frå nettet er 132 g CO₂/kWh mot 395 g CO₂/kWh i «Dagens skule».

«Alternativ bio+30» vil vera det mest gunstige alternativet med 4,5 kg CO₂eq/m², mot «Dagens skule+30» som vil ha eit klimagassutslepp på 5,1 kg CO₂eq/m².

Om EU når sitt mål om å fjerne sine klimagassutslepp frå el produksjonen fram mot 2070, vil GWP frå oppvarminga av skulen på slutten av byggets levetid vera tilsvarende lågt, om ein baserer seg på å vidareføre energiforsyninga basert på berg og solvarme med varmpumpe drive med el frå nettet. Ein slik el produksjon vil føre til store investeringar i teknologi som karbonfangst, kjøp av CO₂ kvotar

og satsing på alternativ energi, noko som truleg også vil føre til sterk vekst i el prisen, langt utover det som er lagt inn i senarioa +30.

Gitt at utviklinga av energiprisane er i samsvar med tilnærminga over vil det vera svært små skilnader knytt til energikostnader mellom «Alternativ bio+30» og «Dagens skule+30». Knappt 2000 kr/år eller 3 øre /m² dyrare for «Alternativ bio+30»

Tabell 10.4 Kostnad kjøpt energi, «Alternativ bio+30»

Energivare	Energikostnad	Spesifikk energikostnad
Direkte el	222573 kr	45,6 kr/m ²
El varmepumpe	0 kr	0 kr/m ²
El solenergi	7001 kr	1,4 kr/m ²
Gass	28174 kr	5,8 kr/m ²
Biobrensel	32231 kr	6,6 kr/m ²
Årleg energikostnad	289979 kr	59,3 kr/m ²

Tabell 10.5 Kostnad kjøpt energi, «Dagens skule+30»

Energivare	Energikostnad	Spesifikk energikostnad
Direkte el	268159 kr	54,9kr/m ²
El varmepumpe	12879 kr	2,6 kr/m ²
El solenergi	7001 kr	1,4 kr/m ²
Gass	0	0 kr/m ²
Biobrensel	0	0 kr/m ²
Årleg energikostnad	288039 kr	59,0 kr/m ²

I tabell 10.4 og 10.5 ser ein at utgiftene til kjøpt energi er tilnærma like for dei to alternativa, «Alternativ bio+30» og «Dagens skule+30»). Alternativet med varmepumpe/bergvarme er meir sårbar for endringar i el-prisen.

11 Diskusjon

Klimarekneskapet blir i stor grad påverka av faktoren for CO₂ ekvivalentar frå el-produksjon. El frå nettet er basert på ein europeisk miks og har ein faktor på 395 g CO₂eq/kWh i denne oppgåva. Dette

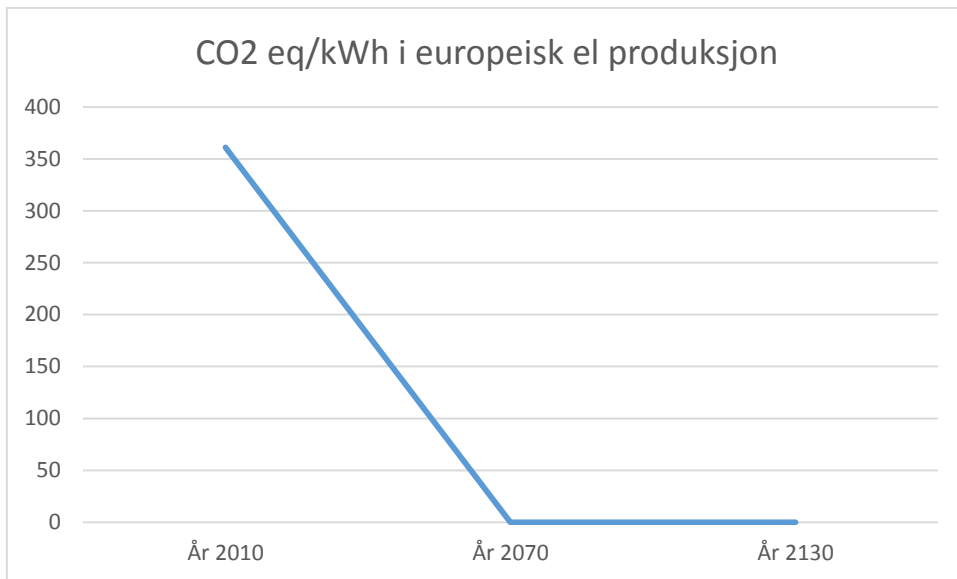
kan synast høgt. Faktoren er ein standard sett av Sintef i 2009 (Dokka et.al 2009) og blir nytta av FutureBuilt. Denne avviker frå faktoren som Sintef nyttar seinare (Graabak and Feilberg 2011). Desse oppgir ein faktor på 361 g CO₂eq/kWh i 2010. Denne faktoren er forventa å søkke i takt med omlegginga av energipolitikken i EU. Klimarekneskapan for energiforsyninga på Frydenhaug skole vil endre seg vesentleg i over byggets levetid på 60 år.

Tabell 11.1 Ulike senario for utviklinga av el-produksjonen i Europa. Alle tal i g CO₂eq/kWh (Graabak and Feilberg 2011)

Senario	År 2010	År 2030	År 2040	År 2050
Red	361	284	271	258
Yellow	361	233	211	192
Green	361	223	187	157
Ultra green	361	196	113	31
Blue	361	183	136	114

I tabell 11.1 er det sett opp ulike senario for CO₂ emisjon frå el-produksjon i Europa. I det mest optimistiske alternativet (Ultra green) er CO₂ emisjonen redusert til 31 gram CO₂ per kWh i 2050. I dei andre alternativa vil det ikkje vera mogleg å oppnå EUs klimapolitiske målsettingar.

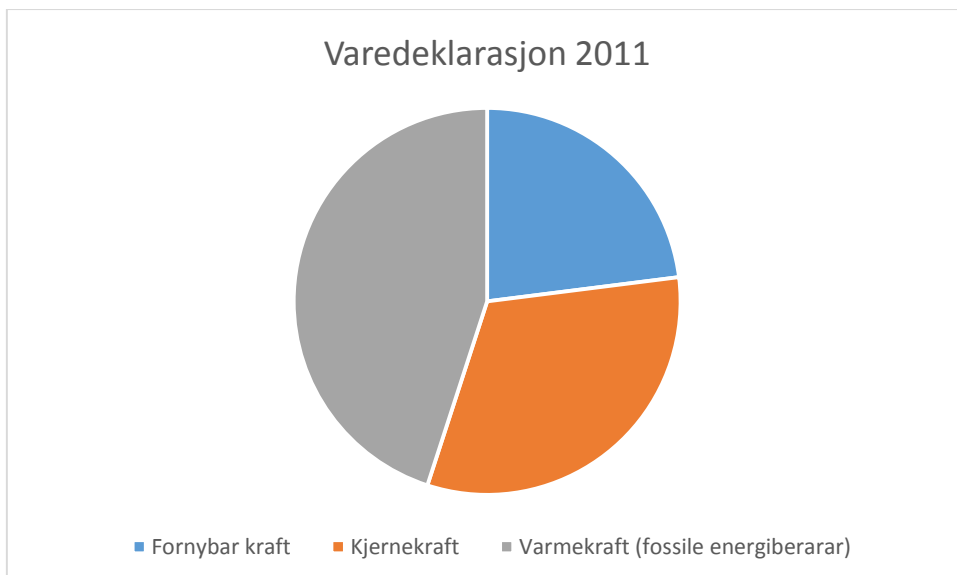
ZEB (Zero Emission Building center) har utarbeida ei berekning for korleis klimapåverknaden blir av europeisk el-produksjon fram mot 2070 (Dokka 2011). Det er teke utgangspunkt i EUs mål om klimagassutslepp i tråd med tilrådingane frå IPCC (2 graders målet). EUs målsetting er reduksjon i klimagassutsleppa knytt til el-produksjon med 85-95% før 2050. Basert på dette reknar ein med at klimagassutsleppa frå el-produksjon vil koma ned mot null i 2070. Gjennomsnitt over ein levetid for bygningar på 60 år blir 132 gCO₂eq/kWh, for eit bygg bygd i 2010.



Figur 11.1: Graf over utviklinga i klimagassutslepp frå europeisk elproduksjon. (Dokka 2011)

Grafen i figur 11.1 visualiserer at EUs ambisjon om reduksjon i CO₂ utslepp frå el-produksjon innan 2070. Dette fordrar ein offensiv satsing på ny teknologi, karbonfangst og alternative energiformar.

NVE utarbeidar ein varedeklarasjon for norsk energimiks, for den delen av kraftmiksen som ikkje har opphavsgarantiar frå norske leverandørar. For denne delen av kraftmarknaden (restmiksen eller residualmiksen) er det berekna eit klimagassutslepp på 307 g CO₂eq/gkWh.



Figur 11.2: Varedeklarasjon residualmiksberekning frå RE-DISS prosjektet. (NVE 2012)

Om ein derimot skal nytte ein nordisk energimiks, blir tala vesentleg lågare. Norsk Fjernvarme tilrår ein faktor på 110 g CO₂eq/kWh. Det vil vera ein fordel om med vidare forskning på dette temaet, slik at ein kan utarbeide ein felles standard for GWP for energivarer brukt både i NS 3700/1 og av leverandørane av kraft.

11.1 Systemverknadsgrad

I modelleringa er det lagt inn ein systemverknadsgrad for romoppvarming for biobrensel på 0,6, for solfangar på 9 og for varmpumpe på 3,5. Dette er dagens teknologi og dagens standardar for dette. Imidlertid er kan det diskuteras om desse verdiane er dei rette å bruke.

For bioenergi er systemverkningsgraden avhengig av start/stopp hyppigheit for forbrenninga og varmebehov/effekt. Dess nærmare varmebehovet er full effekt på forbrenningsanlegget, dess betre systemverknadsgrad oppnår fliskjelen. I denne oppgåva skal fliskjelen dekkje 80 % av varmebehovet for romoppvarming, og 20 % av varmebehovet for tappevatn. For å oppnå dette lyt ein installere ein kjel på ca 40 kW. Maks effektbehov for romoppvarming er 145 kW. Med andre ord er grunnlasten liten, og fliskjelen vil få lang driftstid opp mot maks effekt og få driftsstopp. Dette talar for ein høgare systemverknadsgrad (pers med. Bakken 2015). Ei auke av systemverknadsgraden frå 0,6 til 0,7 vil utgjere ein reduksjon på 130 kg CO₂/år.

For solfangaranlegget er systemverknadsgraden berekna til å vera 33,84, men det er lagt inn ein systemverknadsgrad på 9 i SIMIEN-modelleringa. Dette har samanheng med tidlegare teknologi og standard gjeve i NS 3031:2014, tabell 9. Når det er overskot av varme i solfangaranlegget, skal dette pumpast ned i energibrønnane, med tanke på å lagre overskotsvarmen i berggrunnen. Ein vonar at dette vil gi høgare effekt på varmpumpa, slik at denne vil gje ein effekt på over 4 (pers. med. Rise c 2015). Dette er enno ikkje målt, men FutureBuilt skal utarbeide ein rapport om byggets energiforbruk i drift der det er mogleg å sjå eventuelle effektar av dette.

11.2 Kjølemedie

Det er ikkje oppgjeve type og mengde kjølemedie som er brukt i varmpumpa på Frydenhaug skole. Fleire kjølemedie har imidlertid svært potent GWP (tabell 3), og ein kan rekne med ein viss lekkasje frå varmpumpa over tid. Det er ikkje lagt inn faktor for dette i SIMIEN-modelleringa.

11.3 Soneinndeling og soltilskot

I SIMIEN-modelleringa frå EM-teknikk (Amundsen 2014), er heile bygget rekna som ei sone. Dette gir eit grovt berekning på soltilskot og internlaster. Ein meir nøyaktig berekning kan gjerast i SIMIEN om delar inn bygget i soner og bereknar internlaster og soltilskot i kvar sone for seg og tek omsyn til varmekapasiteten i materiala brukt inne i kvar sone. Likeins er horisontthøgda grovt berekna, og sett til 18° for alle fasadar. Frydenhaug skole ligg i terrenget ope mot aust, nord og vest, men Strømsåsen

skuggar mot sør. Verdiane for soltilskot og effekten på solfangaranlegget vil bli påverka negativt av dette.

11.4 Tappevatnbehov og terapibasseng

Det kjem fram av denne oppgåva at Frydenhaug skole har lågt behov for tappevatn. Av varmebudsjettet utgjer tappevatn berre 19%. Dette har samanheng med at skulens dusjanlegg og terapibasseng er heldt utanfor systemgrensa for energiberekninga. Det reelle behovet for tappevatn og varme er difor langt større. Dersom desse areala hadde vore inkludert i energiberekninga er det uvisst om Frydenhaug skole ville oppfylt krava til utslepp av klimagassar frå skulebygg med dagens energiløysing.

11.5 Varmebehovet ved Frydenhaug skole

I tillegg til at terapibassenget og dusjanlegget er heldt utanfor systemgrensa, er det bygd snøsmelteanlegg i skulegardarden. Dette fører til at det reelle behovet for varme er langt høgare enn det som kjem fram av berekninga i tabell 9.1. Kor stort det ekstra behovet er, er ikkje berekna her. Dette vil gå fram av røynsle etter nokre års bruk. Det ekstra varmebehovet vil tale for større kapasitet på varmpumpe eller biokjel. Ein større kapasitet på biokjelen vil vera ein forholdsvis liten ekstra investering (per. med. Brennum 2015). Ei varmpumpe med større kapasitet og betre verknadsgrad vil vera ei større investering, og vil påverke økonomien monaleg.

11.6 Val av kalkulasjonsrente

Det er ein stor teoretisk diskusjon i økonomifaget omkring val av kalkulasjonsrente. I følge teorien skal ein ta utgangspunkt i ein risikofri rente og eit påslag for risiko (Hoel, Strøm 2012). Risikofri rente vil vera tilsvarande det ein kan få i statsobligasjonar. Risikotillegget skal gjenspegle risikoen i tiltaket. Risikoen for offentlege investeringar skal svare til avkastninga i nasjonalformua. Med andre ord skal risikorenta vera større i høgkonjunktur, på grunn av betre avkastning på alternative investeringar. Framtidige inntekter blir diskontert. Noverdiven blir mindre enn den gevinsten ein oppnår over investeringas levetid. Slik vil låg rente gir høg verdi til framtidige inntekter, omvendt vil høg rente redusere noverdien av inntekter som ligg langt fram. Metoden brukast til å berekne om investeringa er samfunnsøkonomisk lønsam (Harstad 2013).

Risikorenta vil søkke med lengda på tiltaket. Rundskriv R-109/14 gir retningsliner for kalkulasjonsrente i statlege investeringar.

Tabell 11.1 Risikojustert rente etter R-109/14

Levetid	0-40 år	40-75 år	Etter 76 år
Risikojustert rente	4%	3%	2%

I dette prosjektet er levetida berekna til 26 år. Etter tabell 11.1 skulle dimed kalkulasjonsrenta vera 4 % om dette var eit statleg tiltak. Etter at rundskrivet kom ut i april 2014 har renta på 5 års norske statsobligasjonar sokke frå 2,09% til 0,89% (Norges Bank u/å). Dette talar for at kalkulasjonsrenta kunne vore sett lågare, ned mot 3 %.

Drammen Eiendom AS som eig Frydenhaug skole er eit kommunalt selskap. Slike selskap er ikkje bundne av Rundskriv R-109/14, og kan tenke meir bedriftsøkonomisk. Støtte frå Enova vil redusere investeringskostnaden i eit bedriftsøkonomisk perspektiv, slik at tiltaket kan framstå som gunstig. Imidlertid vil ein bedriftsøkonomisk tilnærming tilseie større kalkulasjonsrente, opp mot 20 % avhengig av risiko (per. med. Hofseth 2015).

Risikoen i dette prosjektet vil vera påverka av utviklinga av energipriser. Høge energipriser for el frå nettet vil gi betre lønsemd i prosjektet. Men det er umogleg å føreseie prisutviklinga av el fram mot 2040. Denne oppgåva føresett ein dobling av el prisen etter 30 år, men denne kan bli både høgare og lågare enn dette. Dette vil avhenge av blant anna europeisk politikk for CO₂ prising, utfasing av kolkraftverk, felles energimarknad, nedbørsmengder og betalingsvilje for «CO₂-fri» norsk el, nye energikjelder osv. Risikoen for at prisutviklinga på el frå nettet blir lågare enn føresett, talar for at ein sett ei høgare kalkulasjonsrente enn 4 %.

Reint samfunnsøkonomisk er ikkje investering i dyre oppvarmingsanlegg på Frydenhaug skole lønsamme. Tabell 9.8 viser at ingen av alternativa har positiv noverdi. «Alternativ Bio» er minst ulønnsam. Likevel finns det argument for at investeringa vil vera gunstig. Om ein legg til grunn at ei investering i dag vil redusere effektane av drivhusverknaden i framtida, kan ei ulønnsam investering i kommunale bygg i dag framstå som attraktiv i framtida.

11.7 Val av oppvarmingsløyising

Bakgrunnen for at Drammen Egedom AS har vald varmepumpe på Frydenhaug skole var at dette var kjent teknologi, med mindre behov for ettersyn og service (pers. med. Andersen 2015).

Investeringsanalysen og CO₂ rekneskapan i denne oppgåva kan tale for at ein i andre skular og offentlege bygg bygd etter passivhusstandarden bør vurdere bioenergikjel framfor bergvarme/varmepumpe.

Fleire argument kan likevel tale for bergvarme/varmepumpe. Bioenergikjel har eit stort logistikkbehov ved påfylling av flis. Dette vil skape uønskt trafikk i eit bustadområde. Ein bioenergikjel vil også føre med seg ein del uheldige utslepp av partiklar og svevestøv om forbrenninga ikkje er optimal.

Både CO₂ rekneskapen og investeringsanalysen talar for bioenergikjel. Om ein også inkluderer teorien om eksergi og anergi, vil argumenta for bioenergikjel bli sterkare. I følgje denne teorien er det sløsing å nytta høgkvalitets energi som el til oppvarming. El burde nyttast der lågkvalitets energi ikkje kan erstatte el. Bioenergi som flis har stort innhald av anergi, og burde i større grad vore nytta direkte til oppvarming.

12 Konklusjon

Berekningar gjort i denne oppgåva syner at CO₂ rekneskapen vil bli fordelaktig med bruk av biobrensel framfor varmpumpe med 1,9 kg CO₂eq/m², frå 13,3 til 15,2 kg CO₂eq/m². Energiprisen vil vera tilnærma lik i begge alternativa. CO₂ utsleppa i framtida vil vera avhengig av energimiksen for el til varmpumpe. Om EU oppnår sine mål om redusert GWP frå el produksjonen dei neste 30 åra vil det likevel vera lønsamt med eit anlegg basert på bioenergi, som vil gi ein GWP på 4,5 mot varmpumpe på 5,1 kg CO₂eq/m².

CO₂ rekneskapen endrar seg dramatisk ved endring av faktoren for klimagassutslepp frå el-produksjon. Teoretiske berekningar om utslepp av CO₂ er sterkt avhengig av CO₂-faktoren ein nyttar for el frå nettet.

Ulike CO₂ faktorar for el frå nettet gir ei stor usikkerheit til CO₂ berekning av bygg. Ulike aktørar opererer med forskjellige CO₂ faktorar for det same produktet. Det er behov for at styresmaktene og bransjen sett ein sams faktor for el frå nettet til forbrukarar i Noreg.

I eit passivhus vil det vera fordelaktig med eit forenkla oppvarmingsanlegg. Med ei levetid på 26 år vil det billigaste alternativet med bioenergi /fliskjel vera mest gunstig.

12 Kjelder

Aalerud, P. J. (2012): *Primærenergikonseptet og beregning av primærenergifaktorer*. (Masteroppgave i energi og miljø. Norges tekniske-naturvitenskapelige universitet) Trondheim: Norges tekniske-naturvitenskapelige universitet

Abrahamsen, A. S., Bergh, M., Fedoryshyn, N. (2013): *Energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet i 2011. Rapport 62/2013*. Statistisk Sentralbyrå. Lokalisert 20.05.2015 på: World Wide

Web http://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/_attachment/154307?_ts=142fa6ff6d8

Amundsen, D. K. (2014) *Frydenhaug skole. Simien. Resultat årssimulering*. Drammen: EM Teknikk AS

Andrèn, L., Persson, T., Lennermo, G. (2012): *Rapport nr 26. Handbok för kombinerade sol och biovärmesystem. Teknik - System – Ekonomi*. Projekt SWX-Energi. Högskolan Dalarna og Karlstads Universitet

Börjesson, P. (2007): Bioenergisystem – vilka är effektivast? B. Johansson (red) Artikkel s 121-135. *Bioenergi – till vad och hur mycket?* Formas Fokurerar. Stocholm: Formas

Bjørklund, K. (2012): Oppvarming av boliger med passivhusstandard. (Masteroppgåve, Universitetet for miljø og biovitenskap). Ås: Universitetet for miljø og biovitenskap.

Dokka, T. H. (2011): *Proposal for CO2-factor for electricity and outline of a full ZEB-definition*. ZEB, The Research Centre on Zero Emission Buildings. Lokalisert 03.05.2015 på World Wide Web <http://www.zeb.no/index.php/reports/item/116-proposal-for-co2-factor-for-electricity-and-outline-of-a-full-zeb-definition>

Dokka, T. H., Klinski, M., Haase, M., Mysen, M. (2009): *Kriterier for passivhus- og lavenergibygging – Yrkesbygg. Prosjektrapport 42*. Oslo. Sintef byggforsk. Lokalisert på 30.04.2015 på World Widw Web <https://www.sintef.no/publikasjon/?pubid=SINTEF+A12954>

Eid Hohle, E., et.al (2001): *Bioenergi. Miljø, teknikk og markned*. Branndu: Energigården

Enova.no (2012a): *Dagens standard og fremtidens bolig*. Webartikkel. Lokalisert 30.04.2015 på World Wide Web <http://www.enova.no/radgivning/privat/energismarte-rad-for-din-bolig/fremtidens-bolig/nullhus-plusshus-og-passivhus/dagens-standard-og-fremtidens-boliger/174/200/>

Enova.no (2012b): *Væske/ vann varmpumpe*. Webartikkel. Lokalisert 30.04.2015 på World Wide Web <http://www.enova.no/radgivning/privat/rad-om-produkter-og-losninger/oppvarmingsalternativ/vaskevann-varmpumpe/vaskevann-varmpumpe-/117/139/>

Enova.no (2012c): *Solfanger*. Webartikkel. Lokalisert 30.04.2015 på World Wide Web <http://www.enova.no/radgivning/privat/rad-om-produkter-og-losninger/oppvarmingsalternativ/solfanger/116/0/>

European Commission (2015): *A Framework Strategy for a Resilient Energy Union with a Forward-Looking Climate Change Policy*. Lokalisert 20.04.2015 på World Wide Web: http://ec.europa.eu/priorities/energy-union/docs/energyunion_en.pdf

European Parliament and Council (2009): *Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC*

Finansdepartementet (2014) *Rundskriv R, nr R 109/14* Lokalisert 02.09.14 på World Wide Webb: https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/fin/vedlegg/okstyring/rundskriv/faste/r_109_2014.pdf?id=2220435

Gode, J. F.M., Hagberg, L., Öman, A., Höglund, J., Palm, D: *Miljøfaktaboken (2011) Uppskattede emissionsfaktorer for bränslen, el, varme og transporter 2011*. Stockholm: Värmeforsk.

Graabakk, Ingeborg and Feilberg, Nicolai (2011): *CO₂ emission in a different scenarios of electricity generation in Europe*. Trondheim: Sintef Energy Research

Harstad, B. (2013): *Å regne med fremtiden*. Kronikk i Aftenposten 28.02.2013. Lokalisert 08.09.15 på World Wide Web/.aftenposten.no/meninger/A-regne-med-fremtiden-7133646.html

Hoel, M og Strøm, S. (2012): *Kalkulasjonsrenten. Rapport 2012/44*. Oslo: Vista analyse AS. På oppdrag frå Oljedirektoratet.

Hillring, B. og Olsson, O. (2007) J: *Biobränsel kors og tvärs över gränserna*. B. Johansson (red) Artikkel s 79-88 i *Bioenergi – til vad och hur mycket?* Stocholm Formas Fokuserar.

Karlsen, Håkon Torfinn, Bergh Marius (2014): *Bioenergi i energistatistikken. Notater 2014/43*. Oslo – Kongsvinger. Statistisk sentralbyrå.

Klima og forurensingsdirektoratet (2013): *Rapport Underlagsmateriale for tverrsektoriell biogasstrategi. TA 3020 2013*. Oslo

Norges Bank (u/å): *Statsobligasjoner månedsgjennomsnitt*. Webartikkel Lokalisert 10.09 på World Wide Web: <http://www.norges-bank.no/Statistikk/Rentestatistikk/Statsobligasjoner-Rente-Manedsgjennomsnitt-av-daglige-noteringer/>

NVE (2012): *Varedeklarasjon 2011*. Website. Lokalisert 30.03.2015 på World Wide Web: <http://www.nve.no/no/Kraftmarked/Sluttbrukermarkedet/Varedeklarasjon/Varedeklarasjon-for-2011/>

Løseth, Magnus (2008): *A Model for Estimating the Global Warming potential of the Norwegian Electricity Supply in a Life Cycle Perspective*. (Masteroppgave Norges Tekniske og Naturvitenskapelige Universitet). Trondheim: Norges Tekniske og Naturvitenskapelige Universitet

Otterlei, Esben Tønning (2014): *Kilmaregnskap for fjernvarme. Felles utsleppsfaktorer for den norske fjernvarmebransjen – Oppdatering 2013*. Norsk Fjernvarme

Person, Göran, et.al. (2006): *På väg mot et oljefritt Sverige*. Stockholm: Miljödepartementet, (Kommissionen mot oljeberoende).

Rambøll (2013): *Energiregler 2015. Forslag til endringer i TEK for nybygg*.

Rambøll (2014): *Klimagassberegning Frydenhaug skole. Ferdigstillelse «Som bygget»*

Rennesund, Marius Hom (2015): *Ljusare framtid för producenterna om 4-5 år*. Thema consulting. Webartikkel Lokalisert 29.06 på World Wide Web <http://www.thema.no/thema-montel-ljusare-framtid-for-producenterna-om-4-5-ar>

Sintef Byggforsk og Rambøll på oppdrag fra Lavenergiprogrammet (2013): *Prosjektering av passivhus*. Lavenergiprogrammet, Oslo

SSB (2013): *Energibruk i tjenesteytende næringer, 2011, endelige tall*. Lokalisert 30.03 2015 på World Wide Web <http://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/entjeneste/hvert-3-aar-endelige>

Standard Norge (2012): *NS 3701: 2012 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger*. Yrkesbygninger. Standard online AS

Standard Norge (2014): *NS 3031:2014. Beregning av bygningers energiytelse. Metode og data tabell B.9-2*. Standard online AS

Standard Norge (2015): *Standardisering*. Webartikkel. Lokalisert 23.06.2015 på World Wide Web <https://www.standard.no/standardisering/>

Stene, J. og Smegård, O. Ø. (2013): *Hensiktsmessige varme og kjøleløsninger i bygninger*. Trondheim: COWI/Enova SF

Lavenergiprogrammet (u/å): *Krav til energieffektivitet i Tek 10*. Webartikkel. Lokalisert 30.03.2015 på World Wide Web: <http://www.lavenergiprogrammet.no/lover-og-regler/krav-til-energieffektivitet-i-tek-10-article1698-146.html>

Lovdata (2015). FOR-2014-12-09-1552. *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Tek 10)*

Programbyggerne (u/å) SIMIEN: Lokalisert 31.03.2015 på World Wide Web <http://programbyggerne.no/>

Thue, Jan Vincent (2009) *U-verdi*: Webartikkel. Lokalisert 22.06.2015 på World Wide Web <https://snl.no/U-verdi>

Thermia (u/å) Webside: *Bergvarmepumpe frå Thermia*. Webartikkel. Lokalisert 12.09.15 på World Wide Web <http://www.thermia.no/produkter/bergvarmepumper.asp>

Wikipedia.org (2015) *Specific fan power*. Webartikkel. Lokalisert 20.04.2015 på World Wide Web http://en.wikipedia.org/wiki/Specific_fan_power

12.1 Personlege meddelelsar:

Andersen, G. (16.03.2015) Telefonsamtale

Bakken, M, (26.06.2015) Telefonsamtale

Brennum, C. (06.07.2015) E-post

Grimsrud, E. H. (16.03.2015) Telefonsamtale

Hillring, B. G (30.06.2015) Vegleiersamtale

Hofseth, T.R. (03.09.2015) Telefonsamtale og e-post

Rise, C. M. a (25.06.2015) E-post

Rise, C. M. b (22.06.2015) Telefonsamtale

Rise, C. M. c (26.06.2015) Telefonsamtale

Vedlegg

1 Samtale med Geir Andersen, Drammen Eiendom KF.

Drammen Eiendom valte energiløysing med varmepumpe og solfangar basert på vurdering først og fremst basert på pris. I tillegg er det slik at energibrønner og solfangarar får positive tal i energirekneskapan, då det berre er el krafta som reknast som levert energi. Varmepumpa har ein effekt (Coefficient of Performance, COP) på 4. Dette vil seie at ein får 4 Kwh varme ut frå 1 Kwh tilført el. Ved andre løysingar som fjernvarme eller bioenergi vil all energi reknast som tilført, og gje svakare tal i energirekneskapan. Varmepumpe basert på bergvarme vil også kunne nyttast om det vert behov for kjøling, andre varmeløysingar vil bruke meir energi på å dette. I tillegg vart det vektlagt at kompetansen på biokjellar er svakare i organisasjonen enn den dei har på varmepumpe. Ein biokjel vil gje lokale utslepp av partiklar noko som kan vera uheldig i eit bustadområde i tillegg til tung trafikk i nærområdet. (Andersen, pers. med. 2015)

2 Netto noverdiberekening

År	Elpris	Bioenergi pri	Pris el+sol	Pris pumpe+	Pris bio+sol	Pumpe+sol 5%	Bio+sol 5%	Pumpe+sol 4%	Bio+sol 4%
						2 500 000,00	1 600 000,00	2 500 000,00	1 600 000,00
2015	0,8	0,21	187743,2	150459,2	150036,8	-37 284,00	-37 706,40	-37 284,00	-37 706,40
2016	0,82664	0,213486	193995,049	155469,491	154674,189	-38 525,56	-39 320,86	-38 525,56	-39 320,86
2017	0,85328	0,216972	200246,897	160479,783	159311,578	-39 767,11	-40 935,32	-39 767,11	-40 935,32
2018	0,87992	0,220458	206498,746	165490,074	163948,968	-41 008,67	-42 549,78	-41 008,67	-42 549,78
2019	0,90656	0,223944	212750,594	170500,365	168586,357	-42 250,23	-44 164,24	-42 250,23	-44 164,24
2020	0,9332	0,22743	219002,443	175510,657	173223,746	-43 491,79	-45 778,70	-43 491,79	-45 778,70
2021	0,95984	0,230916	225254,291	180520,948	177861,135	-44 733,34	-47 393,16	-44 733,34	-47 393,16
2022	0,98648	0,234402	231506,14	185531,24	182498,524	-45 974,90	-49 007,62	-45 974,90	-49 007,62
2023	1,01312	0,237888	237757,988	190541,531	187135,914	-47 216,46	-50 622,07	-47 216,46	-50 622,07
2024	1,03976	0,241374	244009,837	195551,822	191773,303	-48 458,01	-52 236,53	-48 458,01	-52 236,53
2025	1,0664	0,24486	250261,686	200562,114	196410,692	-49 699,57	-53 850,99	-49 699,57	-53 850,99
2026	1,09304	0,248346	256513,534	205572,405	201048,081	-50 941,13	-55 465,45	-50 941,13	-55 465,45
2027	1,11968	0,251832	262765,383	210582,696	205685,47	-52 182,69	-57 079,91	-52 182,69	-57 079,91
2028	1,14632	0,255318	269017,231	215592,988	210322,86	-53 424,24	-58 694,37	-53 424,24	-58 694,37
2029	1,17296	0,258804	275269,08	220603,279	214960,249	-54 665,80	-60 308,83	-54 665,80	-60 308,83
2030	1,1996	0,26229	281520,928	225613,57	219597,638	-55 907,36	-61 923,29	-55 907,36	-61 923,29
2031	1,22624	0,265776	287772,777	230623,862	224235,027	-57 148,92	-63 537,75	-57 148,92	-63 537,75
2032	1,25288	0,269262	294024,626	235634,153	228872,416	-58 390,47	-65 152,21	-58 390,47	-65 152,21
2033	1,27952	0,272748	300276,474	240644,444	233509,806	-59 632,03	-66 766,67	-59 632,03	-66 766,67
2034	1,30616	0,276234	306528,323	245654,736	238147,195	-60 873,59	-68 381,13	-60 873,59	-68 381,13
2035	1,3328	0,27972	312780,171	250665,027	242784,584	-62 115,14	-69 995,59	-62 115,14	-69 995,59
2036	1,35944	0,283206	319032,02	255675,319	247421,973	-63 356,70	-71 610,05	-63 356,70	-71 610,05
2037	1,38608	0,286692	325283,868	260685,61	252059,362	-64 598,26	-73 224,51	-64 598,26	-73 224,51
2038	1,41272	0,290178	331535,717	265695,901	256696,752	-65 839,82	-74 838,97	-65 839,82	-74 838,97
2039	1,43936	0,293664	337787,565	270706,193	261334,141	-67 081,37	-76 453,42	-67 081,37	-76 453,42
2040	1,466	0,29715	344039,414	275716,484	265971,53	-68 322,93	-78 067,88	-68 322,93	-78 067,88
						kr 1 703 481,00	kr 790 387,97	kr 1 633 741,33	kr 702 659,42
						kr -711 344,95	kr -770 092,63	kr -800 909,02	kr -869 234,20
						1 788 655,05	829 907,37	1 699 090,98	730 765,80
2041	1,49264	0,300636	350291,263	280726,775	270608,919	69 564,49	81 296,80	201 044,43	192 335,05
2042	1,51928	0,304122	356543,111	285737,067	275246,308	70 806,04	82 911,26	204 440,26	195 357,98
2043	1,54592	0,307608	362794,96	290747,358	279883,698	72 047,60	84 525,72	207 836,10	198 364,69
2044	1,57256	0,311094	369046,808	295757,649	284521,087	73 289,16	86 156,40	211 231,93	201 330,00
2045	1,6	0,315	375486,4	300918,4	289330	74 568,00		214 762,00	

I raden over år 2041 står netto noverdi. Kontantstrøm for inntekter er førd med negative tal. Netto noverdi er investering minus diskontert kontantstrøm. Sidan investeringa står med positive tal, er inntekta med negative tal. Inntektene i anlegga vil ikkje vera store nok til å forsvare investeringa.