

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Fakultet for miljøvitenskap og teknologi
Institutt for naturforvaltning

Masteroppgave 2014
30 stp

Modell av varmesystem for eneboliger basert på vedovn og solfangere (BOVEDSOL) - Et casestudie

Model of heating system for single family houses
based on wood stove and solar collectors
(BOVEDSOL) - A case study

Andreas Grimslund

Forord

Denne masteroppgaven er utført ved Institutt for naturforvaltning ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet våren 2014. Med dette prosjektet avsluttes min mastergrad i fornybar energi og studenttilværelse på Ås.

En stor takk rettes til alle bidragsytere på masterstudiet i fornybar energi og til dem som har bidratt i prosessen. I første rekke gjelder det min veileder senterdirektør ved Norsk senter for bioenergiforskning Odd Jarle Skjelhaugen for gode samtaler og lunt humør. Videre vil jeg takke produktansvarlig ved Ole Christian Bye AS Roy Eng for mye nyttig materiale og deling av sin faglige kompetanse. Takk til direktør Anders N. Andersen og konsulent Leif Holm Tambjerg ved Energistyrelsen for veiledning i bruk av modelleringssoftwaren EnergyPRO, og takk til førsteamanuensis II Monica Havskjold for å muliggjøre bruk av programvaren og for nyttig datamateriale.

Forøvrig tar jeg alle eventuelle feil og mangler i rapporten helt og holdent på min egen kappe.

Til slutt en stor takk til min kjære samboer Victoria for tålmodighet og støtte.

Ås, 13. juni 2014

Andreas Grimsland

Sammendrag

Denne masteroppgaven tar for seg temaet vannbårent oppvarmingssystem basert på ved og sol som løsning for å dekke varmebehovet til en enebolig. Innfallsvinkelen til tema er hvordan vannmantlet vedovn og solfangere utfyller hverandre, med fokus på reduksjon av elforbruk til oppvarming, brukerenes vaner ovenfor vedovnen, varmeproduksjon fra solfangere, og lønnsomheten ved investering i et anlegg.

For tilnærming til tema har det blitt benyttet kvantitativ metode. En kombinasjon av litteraturstudie og intervju er blitt brukt for data- og kunnskapsinnsamling. Gjennom et case-studie er det blitt studert teknologier levert av Ole Christian Bye AS for oppvarming av en tenkt enebolig på Ås. Videre har varmesystemet blitt modellert i sin helhet med modelleringsprogrammet EnergyPRO for analyse av teknologi og økonomi.

Modellen, BOVEDSOL, tar for seg varmebehovet til en enebolig av eldre varmeteknisk standard og er tilpasset et Ås-klima for 2013. Det var av stor betydning at inndata for utetemperaturer og global solinnstråling i modellen hadde stor grad av nøyaktighet, ettersom at disse dataene la grunnlaget for solfangerenes varmeproduksjon og varmebehovets fordeling over årets 8760 timer. En vannmantlet vedovn og fem plane solfangere ble koblet opp mot et varmelager med innebygget varmtvannsbereder og elkolbe for å dekke varmebehovet. Videre ble tekniske begrensninger, energipriser og investeringskostnader lagt til grunn for beregning av varmesystemets ytelse og lønnsomhet.

Ved optimale bruksforhold viste det seg at vedovn og solfangere til sammen leverte 99 prosent av det årlige behovet for varmtvann og romoppvarming på 18 100 kWh. Reduksjon av elforbruk er da tilsvarende formidabel. Utenfor vedovnens fyringssesong (15. mai – 15. sept.) produserte solfangerene 88 prosent av det totale varmebehovet på 1 700 kWh. Brukergrupper med mulighet for egenprodusert ved til kostpris oppnår best lønnsomhet over en levetid på 25 år. Tilbakebetalingstid er da på 16,2 og 21,6 år for henholdsvis aktiv og passiv bruk av vedovnen.

Vedovn og solfangere viste seg å utfylle hverandre helt utmerket i et vannbårent oppvarmingssystem for eneboliger.

Abstract

This master thesis are concerning the topic of waterborne heating system based on solar and wood fuel as a solution to cover a heating demand for a single family house. The approach for this topic is how a water-jacketed woodstove and plane sun collectors can fulfill each other. The focuses for solving the problem are concerning reduction of electricity for heating purposes, user's habits regarding the woodstove, heat production from sun collectors and the profitability in such investment.

Qualitative methods have been utilized for approaching the subject. A combination of literature-studies and interviews has been used for collection of data and general knowledge. Through a case-study, technologies delivered from Ole Christian Bye AS has been investigated as to meet a given heat demand for a thought single family house. For technical and economic analyses the whole heating system was modelled by utilizing EnergyPRO.

The model, BOVEDSOL, is concerning a single family house of an elderly heat-technical standard, and is adapted to an Ås-climate anno 2013. It was of great importance that data for outdoor temperatures and global radiation irradiance had a large degree of accuracy, since these laid down the foundation for the collectors heat production and generated the yearly profile for the heat demand. A water-jacketed woodstove and five sun collectors was connected to a heat store with internal tank of domestic hot water and built-in electric heater to supply the heat demand. Energy- and investment costs, and technical limitations was added for calculations of profitability and heat gain.

Modelling of optimal system usage proved woodstove and solar collectors to deliver 99 percent of a total yearly heat demand of 18 100 kWh. Outside the woodstove-season (May 15th – Sept. 15th), production from the solar collectors delivered 88 percent of the total heat demand of 1 700 kWh. Profitability over a lifespan of 25 years was found highest for users with possibilities for low-cost wood fuel. Payback time was then found for both active and passive approaches to the woodstove.

Woodstove and solar collectors proved to fulfill each other perfectly in water borne heating system for a single family house.

Innholdsfortegnelse

Forord	iii
Sammendrag	iv
Abstract	v
1. Innledning	1
1.1. Bakgrunn	1
1.2. Problemstilling.....	2
1.3. Mål.....	2
1.4. Tilnærming.....	2
1.5. Metode	3
1.5.1. Datainnsamling.....	3
1.5.2. Case-studie	4
1.5.3. Modellering	4
1.6. Tidligere arbeider/kunnskapsreferanser	5
2. Beskrivelse av system og teknologi	7
2.1. Varmesystem.....	7
2.1.1. Generelt.....	7
2.1.2. Caset	7
2.2. Varmebehov	10
2.3. Teknologien	12
2.3.1. Vannmantlet vedovn	12
2.3.2. Plane solfangere	14
2.3.3. Termisk akkumulering	16
3. Modellen	19
3.1. EnergyPRO	19
3.2. Data og forutsetninger	20
3.2.1. Varmebehov	20
3.2.2. Varmeproduksjon	22
3.2.3. Termisk akkumulering	26
3.2.4. Klima	26
3.2.5. Vedpris.....	27
3.2.6. Elpris	28
3.2.7. Investeringer.....	30
3.2.8. Inflasjon og nåverdi	31
4. Resultater	32

4.1.	Oppsett.....	32
4.1.1.	Oppvarming.....	32
4.1.2.	Langsiktig lønnsomhet.....	35
5.	Diskusjon.....	37
5.1.	Oppvarming.....	37
5.2.	Lønnsomhet.....	39
6.	Konklusjon.....	41
7.	Kilder.....	42
Vedlegg.....		44

1. Innledning

1.1. Bakgrunn

I Norge er energisituasjonen solid og trygg med tanke på ressurs og sikkerhet. Vannkraften har gitt en overflod av billig, elektrisk kraft, og vi har som en konsekvens gjort oss svært så avhengige av den hva gjelder oppvarming og generell komfort. Opprustning og utbygging av el-nettet og kraftproduksjonen er en nødvendighet og en kontinuerlig prosess, men er ikke uten konflikter og kontroversielle løsninger. Svært få ønsker videre utbygging av norsk natur.

Elektrisitet er den mest høyverdige energi vi besitter, og burde strengt tatt brukes til andre formål enn oppvarming. For oppvarming av de norske hjem er det av nasjonal interesse at omlegging fra direkte elektrisk kraft til mer fornybare, lokale energikilder igangsettes (Klimakur 2020, 2010). Dette gjelder på det nasjonale plan generelt, men har en ekstra dimensjon for bebyggelse utenfor urbane områder hvor fjernvarmenett ikke når frem og elnettet har en ekstra grad av usikkerhet knyttet til seg. Her ligger kjernen til valg av tema. Sol- og biovarme har egenskaper som gjør dem svært uavhengig av elnettet og tilhørende kraftpriser. Satt sammen til et kombinert varmesystem er det grunnlag for å mene at disse energikildene vil kunne utfylle hverandre, da med vedfyring vinterstid og solvarme sommertid. I så måte vil systemeiere kunne oppleve en høy grad av selvberging hva gjelder oppvarming av bolig og varmtvann.

Løftes blikket vil dette kunne gi positive ringvirkninger, som avlastning av et hardt prøvet elnett, reduksjon i forbruk av høyverdig, regulerbar kraft til oppvarming, og dermed større muligheter for eksport til det europeiske markedet, og en videre modning i bruk av våre nasjonale energiresurser.

Nybygging av eneboliger skjer under svært skjerpede former, og rammeverket rundt nybyggs energiytelse og fornybar-grad er allerede langt på vei mot det utopiske null-huset. På en annen side er det fremdeles størst andel av eldre eneboliger, og en stor andel av omleggingen skjer her. Ved valg av nytt oppvarmingssystem for sin enebolig er eier avhengig av et trygt og solid system, som kan leveres/installeres med kompetanse og garantier.

Det har vært lite forskning på sol/bio oppvarmingsanlegg i Norge. Noen studier er gjort i andre skandinaviske land (Persson, T. et al., 2006; Ellehauge, K., Sæby, A., 2000), hvor mye av kunnskapen er hentet fra sørlige deler av kontinentet. Tyskland, Østerrike, Kroatia, Sverige, osv. har hatt stigende etterspørsel over lengre tid, og dermed en sterk faglig kompetanse rundt dette feltet.

Sol- og biobaserte kombisystemer for oppvarming har foreløpig ikke opparbeidet noe særlig stor markedsandel i Norge. Signaler ifra aktører innenfor bransjen peker på kunnskaps- og kompetansemangel, og dermed en berettiget skepsis hos potensielle kunder.

1.2. Problemstilling

Som et bidrag til å heve kunnskapsnivået for kombinerte sol- og biobaserte varmeanlegg er det ønskelig å se på det potensielle samspillet disse to energikildene imellom. For å utforske temaet er det satt følgende problemstilling:

Hvordan utfyller varme fra ved og sol hverandre i et moderne vannbårent varmeanlegg for eneboliger?

Følgende hypoteser ble lagt til grunn:

- I. Behovet for levert elektrisk kraft til oppvarming vil være svært lav.***
- II. Bruken av vedovnen vil avgjøre reduksjon av elektrisitet.***
- III. Tilskudd av solvarme vil dekke varmebehovet utenfor fyringssesongen.***
- IV. Langsiktig lønnsomhet i varmeanlegget vil være avhengig av energipriser og investeringskostnad.***

1.3. Mål

Målet er å analysere drift og økonomi ved kombinert bruk av vedovn og solfangere til oppvarming av eneboliger.

1.4. Tilnærming

Det ble opprettet en god forståelse for varmesystemer i eneboliger generelt, og systemer som belager seg på sol og biomasse spesielt. Kunnskap om varmebehov, valgt teknologi, ressurser, etc. var av stor betydning for oppgaven.

En inngående studie av det valgte modelleringsprogrammet EnergyPRO ble gjort for avklaring av programmets egenskaper, muligheter og begrensninger. Testing av hypotesene forutsatte en fungerende modell med varmesystemets tekniske og økonomiske data lagt til grunn.

1.5. Metode

I oppgaven ble det gjennomført datainnsamling gjennom litteratur og intervju. utfordringen var å sortere dataene og gjøre rede for hvilke data som brukes og hvordan de brukes. Datainnsamlingen har lagt vekt på reliabilitet og det gjenspeiles i kildehenvisningen.

Et case-studie har tatt for seg en tenkt enebolig med oppvarmingsteknologi levert av en stor forhandler. Case-studiet har lagt grunnlaget for videre modellering av varmesystemet i EnergyPRO.

1.5.1. Datainnsamling

Datainnsamling til dette studiet ble gjort gjennom litteratur og intervju.

Litteraturstudie

Det meste av datainnsamlingen baserte seg på litteraturstudie. For de tekniske sider av oppgaven ble det gjort studier av de gjeldende produkters kataloger levert fra produsent. Der det hadde blitt gjennomført testing av produktene er disse dokumentene blitt brukt for å verifisere yteevne og andre egenskaper.

En gjennomgang av aktuell litteratur og rapporter fra sammenlignbare undersøkelser ble gjort for å støtte opp om de praktiske deler av oppgava. Her ble det lagt vekt på at litteraturen var fra anerkjente kilder.

Intervju

Gjennom samtaler/intervjuer med fagpersoner ble det tilført oppgaven kunnskap som vanskelig ville latt seg tilføre gjennom studier av litteratur. Disse samtalene har vært med ansatte ved bedriften som har utviklet den anvendte programvaren, EMD International AS, og ansatte ved Ole Chr. Bye AS.

Tabell 1.1. Veiledende samtalepartnere gjennom prosjektet.

Navn	Tittel	Bidrag ved intervju	Selskap
Anders N. Andersen	Direktør ved Energisystem Departementet	Veiledning i modellering med EnergyPRO	EMD International AS
Leif Holm Tambjerg	Energisystem Konsulent	Veiledning i modellering med EnergyPRO	EMD International AS
Roy Eng	Produktansvarlig	Tekniske og økonomiske nøkkeltall, diskusjon ang. antagelser gjort i arbeidet	Ole Christian Bye AS

1.5.2. Case-studie

Et relativt utprøvd og fungerende oppvarmingssystem levert av Ole Christian Bye AS ble valgt ut som case. Bedriften er av landets desidert største forhandlere for denne teknologinisjen. Den er lokalisert i Rakkestad, som er i nærhet til NMBU på Ås.

Case-studiet ble gjort av flere grunner. En av dem var de indirekte dataene og den direkte forståelsen en slik studie ville tilføre oppgaven og modellbyggingen. En annen var validitetsmulighetene kunnskap om systemets egenskaper representerte for en endelig modell. Caset skulle videre representere en tenkt enebolig på Ås med installert teknologi fra Ole Christian Bye AS.

1.5.3. Modellering

For en studie av et bio- og solbasert oppvarmingssystem for enebolig ble det valgt og modellere systemet. Det var ønskelig at modellen skulle kunne inneholde både tekniske og økonomiske tall som ligger til grunn for de forskjellige produksjonsenhetene. Samtidig var det ønskelig at ytre faktorer og direkte drivere til systemet kunne tilføres modellen, slik som værdata, priser på energivarer, varmebehov og termiske lagringsmuligheter.

Som det kom fram var det uvisst, og sånn sett en utfordring i seg selv, om et valgt program ville kunne gjøre beregninger basert på den informasjonen en fant. EnergyPRO ble i dette prosjektet valgt fordi programmet innehar en rekke applikasjoner som var ønskelig for dette

studiet. Softwaren er utviklet av det danske konsulentfirmaet EMD International AS for å simulere større anlegg som fjernvarmeanlegg og kanskje spesielt for anlegg som kombinerer varme og kraft, CHP-anlegg. Her ligger programmets styrke i optimiseringsmulighetene for styring av produksjonsenhetene, hvor en kan velge å optimisere mot maks profitt eller å definere prioritering av enhetene selv. Sistnevnte var aktuell for dette studiet. Her dukket det opp en rekke utfordringer ved en gjennomgående nedskalering av varmesystem-prinsipper programvaren var ment for.

En grundigere innføring i EnergyPRO vil komme i kapittel 3.

1.6. Tidligere arbeider/kunnskapsreferanser

Det er tidligere blitt gjort skandinaviske studier av varmesystemer hvor solfangere og fyrkjeler (pellets) står for majoriteten av varmetilskuddet. Mulighet for sammenlikning og tilegning av kunnskap er tilstede, selv om dette studiet tar for seg vedfyrt ovn kombinert med sol.

Tomas Persson har med sin doktoravhandling fra 2005 ved SERC Høgskolan Dalarna, «Combined solar and pellet heating systems for single-family houses», gjort et formidabelt studie angående lavere elektrisitetsforbruk, høyere systemvirkningsgrad og høyere solenergiuttak ved samspillet mellom solfangere og pelletskjeler. Det er i avhandlingen anvendt modelleringsprogrammet TRNSYS for simulering av flere systemdesign i ulike typer eneboliger og under forskjellige driftsstrategier. Funnene er at driftsstrategi, systemdesign, lukkede/åpne dører mellom soner, og utstyr som kan utnytte solenergien mer aktivt (vaske-/oppvaskmaskin med varmeveksler) har betydning for elforbruk, virkningsgrad og solenergiuttak (Persson, T., 2006).

Dataene i denne studien er tilegnet gjennom målinger på utstyr i laboratorium. Parallelt gjøres undersøkelser av pelletsteknologi med videre mål om å utvikle kompakte systemer for sol og pellets for elektrisk oppvarmede eneboliger uten eget rom til kjel og annet teknisk utstyr (Fiedler, F. et al., 2005).

Varmesystem basert på sol og biomasse i eneboliger er undersøkt og målt, hvor det er blitt funnet gode og funksjonelle systemdesign såvel som dårlige (Ellehauge, K., Sæby, A., 2000). Gjennom disse studier, samt Perssons utallige utgivelser, kommer kompleksiteten i

kombisystemene fram, selv om det ikke enda finnes noen standardiserte målinger og evalueringer.

Ved kombinert bio- og solvarmesystem kan den sparte energien fra kjelen overgå den tilførte energien fra solfangeren. Dette er en forklaring på hvorfor eiere av eneboliger melder inn høyere sparing av energi enn hva som er hentet inn fra solfangeren, sammen med adferdsforandring utløst av det faktum at eneboligeier har fått installert et solvarmesystem og dermed er mer miljøbevisst (Larsson, T., 2000).

Det er i Norge gjennomført et prosjekt for å skissere en oversikt over potensialet for solenergi som kan realiseres frem mot 2020, «Mulighetsstudie solenergi». I rapporten kommer det frem at Norge vil ha installert rundt 220 000 m² solfangere ved inngangen av 2020, dersom vekstraten på installasjon av solfangere i perioden 2010-2020 blir tilsvarende den man så i Europa på 2000-tallet (Enova, 2011). Dette kan utgjøre en leveranse på 6,6-15,4 GWh/år, om man legger til grunn at et godt dimensjonert solvarmesystem for norske boliger vil produsere 300-700 kWh per kvadratmeter solfangerareal i året (Andresen, I., 2008). Solfangerteknologi som kombineres med andre løsninger vil føre til økte varmekostnader i størrelsesorden 10-15 øre/kWh for lavenergiboliger og passivhus. Varmesystem med lavest kostnad per år er typisk direkte elektrisk oppvarmet når dagens elpriser blir lagt til grunn. Om strømpris nærmer seg europeiske nivåer på opp imot 2 kr/kWh, vil disse systemene gi høyest årskostnad (Andresen, I. et al., 2010).

2. Beskrivelse av system og teknologi

2.1. Varmesystem



Figur 2.1. Eksempel på enebolig med vannbårent oppvarmingssystem for tappevann- og romoppvarming basert på solfangere og vannmantlet vedovn.

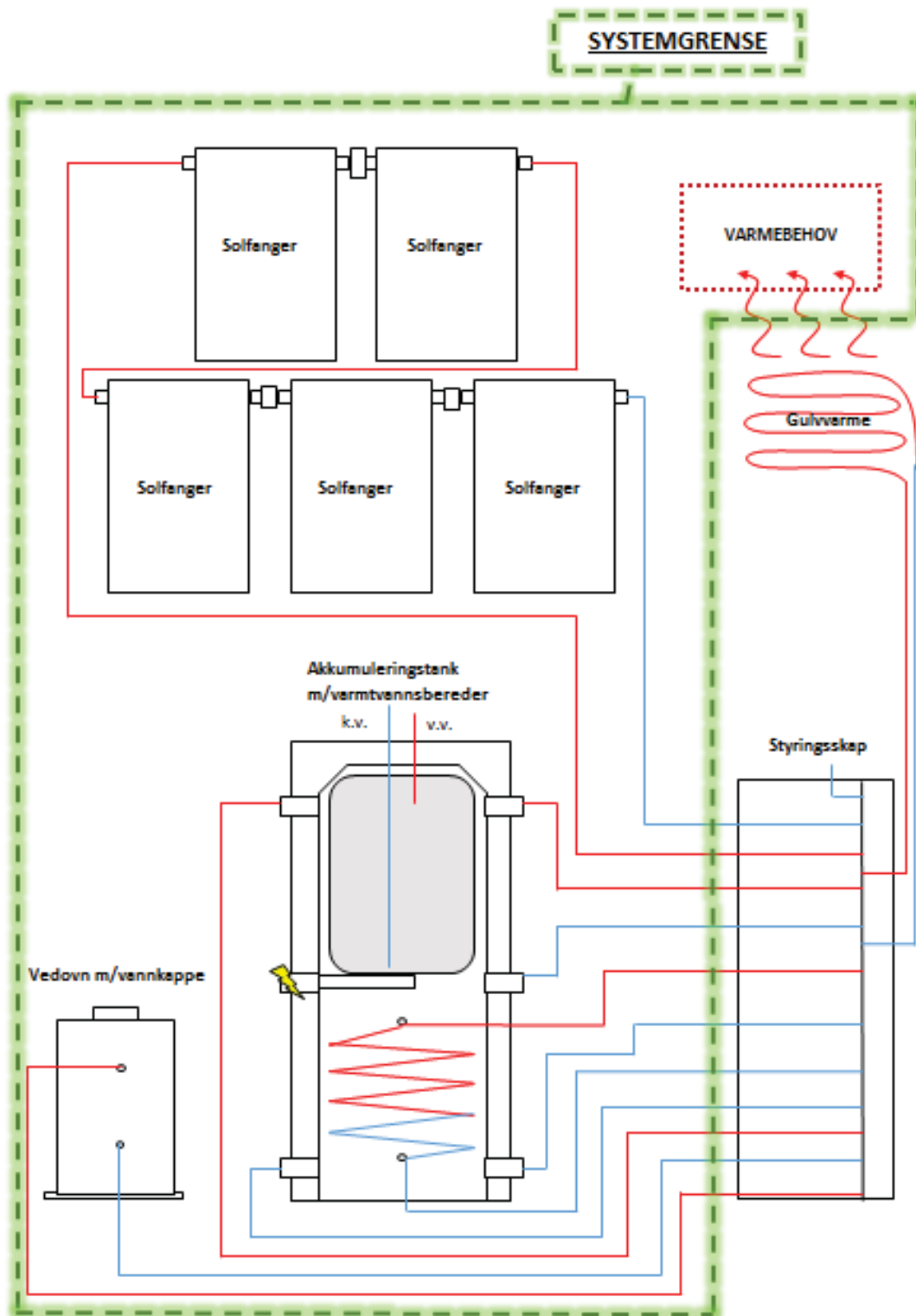
2.1.1. Generelt

Et varmesystem i enebolig vil være en videre utvikling av ordinær punktvarme som elektrisk panelovn eller en vedfyrt peis/ovn. Poenget er å sette varmekilder i et system som vil kunne gi en jevn og kontrollerbar oppvarming, og som konsekvens vil utnyttelsen av aktuelle energibærere kunne effektiviseres og forbruk av energiråvarer kunne synke. For et system basert på biomasse og termisk solenergi vil en akkumuleringstank være nødvendig for lagring av varme som forbruker vil kunne hente ut etter behov, spesielt med tanke på utnyttelse av tilført solvarme. Varmen hentes ut, lagres og transporteres ved vann, altså et vannbårent varmesystem. Varmen vil transporteres ut i rommene gjennom konstruksjonen (gulv-/vegg-/takvarme), fra radiatorer eller viftekonvektorer. Hvilken av løsningene som velges vil kunne ha betydning for kostnad på kort og lang sikt.

2.1.2. Caset

Caset i studiet er sol- og vedbasert varmeanlegg fra OCB. Anlegget plasseres i en tenkt enebolig med gitt varmebehov. Som det kan observeres i figur 2.2. på neste side er det markert en *systemgrense* for dette casestudiet. Denne grensen markerer modellens rekkevidde hva angår det totale varmesystemet i en gitt enebolig. Innenfor systemgrensen finnes hovedkomponentene for varmeproduksjon og lagring, samt varmebehovet det er

rettet mot. Innenfor systemgrensen er også energiråvarer og klimadata hver enkelt produksjonsenhet måtte være avhengig av.



Figur 1.2. Systemskisse med komponenter fra modellering (solfangere, vedovn, og akkumulatortank med varmtvannsbereider og EL-kolbe). Varmebehovet vises som en boks som er mål for varmebidraget. En markert systemgrense er tegnet inn, som markerer modellens begrensning.

Styringsskapet og systemet for varmedistribusjon er på utsiden av systemgrensen i figuren på forrige side. Det er for å avklare at disse egenskapene ved varmesystemet ikke inngår i modellen direkte. Det er i dette studiet hyppig bruk av uttrykket *varmebehov*. Med varmebehov menes det *levert energi* til oppvarming i henhold til NS 3031 (elektrisk energi til lys og annet utstyr regnes ikke med her). Altså, energi levert til boligen for å dekke varmebehovet, inkludert systemtap som ikke nyttiggjøres/gjenvinnes. Varmebehovet i dette studiet er dermed en kvantifisering av levert energi til oppvarming etter at boligens og systemets tap, og internt og eksternt bidrag, er tatt høyde for. For en utredning av varmesystem for en reell enebolig ved bruk av BOVEDSOL, forutsetter det en grundig utredning av aktuell boligs varmetekniske tilstand må gjøres på forhånd. I dette studiet er altså eneboligens varmetekniske tilstand en tenkt case, som inngår indirekte i modellen gjennom varmebehovet.

Ole Christian Bye AS, fra nå referert til som OCB, leverer ferdig pakke for aktuell systemsammensetning. Løsningen for systemet innehar egenskaper som gjør at det kan tilpasses aktuell bruker med hensyn til kapasitet på produksjonsenhetene. Spesielt da for fastsettelse av nødvendig innstallert solfangerareal og tilhørende størrelse på akkumuleringstank vil denne tilpasningen være utslagsgivende (Bye, 2014). I denne studiens tenkte enebolig ligger det til grunn en familie med to voksne og to barn, og fastsettelse av størrelsesordener er gjort deretter. *Begrepet bruker* går igjen i oppgaven, og med det menes eier av investeringen og varmesystemet, og den som drifter det.

Systempakken til OCB er videre et svært kompakt varmesystem og krever ikke mer enn i underkant av 2 m² for teknisk rom (Bye, 2014). Denne egenskapen er heldig for bruker, som da ikke mister for mye areal til denne nødvendigheten. Løsningen til OCB er i alt sammenfallende med tidligere skandinaviske studiers «best practise», hva gjelder kompakthet og systemløsning.

Lønnsomhetsberegninger

Lønnsomhet beregnes ut ifra nåvedimetoden og tilbakebetalingsmetoden (Boye, K., Koekebakker, S., 2011).

Nåverdimetoden sammenligner nåverdien av alle inn- og utbetalinger på investeringstidspunktet, NPV. Er nåverdien positiv for et sol/bio varmeanlegg bør investeringen gjøres, mens den ikke bør gjøres ved negativ nåverdi.

$$NPV = -CF_0 + \frac{CF_1}{1+i} + \frac{CF_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+i)^n} = -CF_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t}$$

hvor CF_t står for innbetalingsoverskuddet i år t , CF_0 for investeringskostnaden, n for levetiden og i for rentekravet.

Inntjeningsmetoden undersøker hvor mange år det tar før investeringen i varmeanlegget er inntjent i form av kontantstrømmer over perioder. Inntjeningstid finnes ved å finne antall år, T , som tilfredsstiller følgende ligning:

$$CF_0 = \sum_{t=1}^T CF_t$$

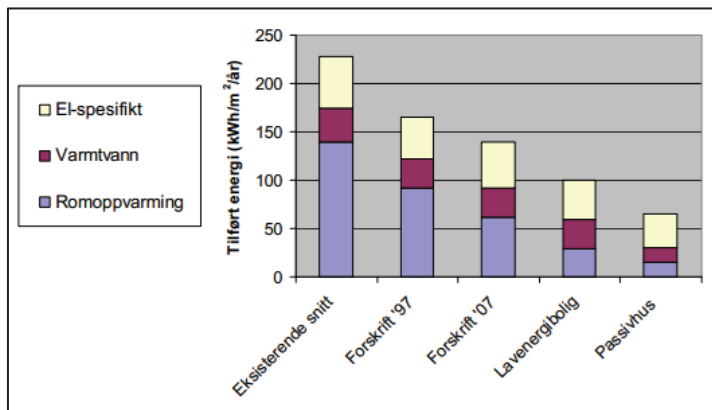
Alternativkostnaden for innspart elektrisk kraft til oppvarming regnes som et positivt bidrag til inbetalingsoverskuddet.

I dette studiet ble det forutsatt en eldre enebolig der varmesystemet oppgraderes. Det er dermed det investeringskostnaden representerer; produksjonsenheter, akkumuleringstank, styreskap, distribusjonskomponenter og installasjon. Distribusjonssystem ble valgt til gulvvarme grunnet ønskelige egenskaper. Dette kompliserer prosessen for installering, så investeringen begrenser seg til komponenter og installasjon av anlegg, ikke eventuelle nye gulv. Forbedringer av det varmetekniske som omhandler bygningskroppen ble heller ikke tatt med i beregningene (nye vinduer, etterisolering, bygging av teknisk rom (dersom det ikke finnes fra før), etc.).

2.2. Varmebehov

Husholdninger vil ha et varierende behov for varme. Utetemperatur er den mest utslagsgivende faktor og styrer behovet for romoppvarming, *temperaturavhengig oppvarming*. Oppvarming av tappevann er den andre store posten og blir styrt av brukerne selv med deres vaner og daglige rutiner, *temperaturuavhengig oppvarming*. Fordelingen de to postene imellom ligger på 85 % romoppvarming og 15 % tappevannsoppvarming (NVE, 2012).

I tillegg vil bygningskroppens standard ha stor innvirkning på nødvendig levert energi til oppvarming. Figur 2.3. neste side viser typisk energibruk til oppvarming av eneboliger, ved forskjellige historiske standarder, i kWh/m²/år.



Figur 2.3. Typisk energibruk for en eksisterende bolig [kWh/m²/år], en bolig bygget etter byggeforskriften av 1997 (Forskrift'97), etter revidert forskrift av 2007 (Forskrift '07), en lavenergibolig og et passivhus (Oslo-klima) (Andresen, I., 2008).

Som nevnt tidligere fokuserer dette studiet på eldre eneboliger. Fra forrige figur kan dette tolkes som energibruk til varmtvann og romoppvarming for «eksisterende snitt».

Basetemperatur, T_{base} , er utetemperaturen hvor romoppvarming blir nødvendig. Er utetemperaturen høyere enn basetemperaturen vil ikke behovet for romoppvarming være tilstede. Basetemperaturen vil være avhengig av byggets varmetekniske standard. Som det vises i tabell 2.1. under, er den naturlig nok lavere for bygg av nyere standarder. Tallene er basert på simuleringer og vil bli anvendt i kapittel 3 for graddagskorrigering av varmebehov.

Tabell 2.1. Beregnet basetemperatur for ulike varmetekniske standarder (Dokka, T.H., Grini, C., 2013).

Varmeteknisk nivå	T_{base}
på bygget	
Passivhus-nivå (TEK15)	9 °C
TEK10-nivå	13 °C
TEK97-nivå	15 °C
TEK87-nivå eller eldre	17 °C

Graddagskorrigeringsmetode anvendes ved hjelp av EnergyPRO for å distribuere det temperaturavhengige varmebehovet ut over året etter formel:

$$X_{avh} * \max [T_{base} - T_{ute}; 0] + X_u$$

Hvor X_{avh} er en faktor som genereres ut ifra den temperraturavhengige andelen satt for varmebehovet, X_u er en konstant for det temperaturuavhengige varmebehovet.

2.3. Teknologien

Teknologien som gjør seg gjeldende i denne oppgaven kan forklares enkelt, da avansert teori bak ikke vil være av betydning for modellen og dermed resultatene. Her følger en presentasjon av varmeproduksjonsenhetene og energikildene de er avhengig av. I figur 2.2. ble disse vist i en fullstendig skisse av systemet.

2.3.1. Vannmantlet vedovn

Ved å fyre i en vannmantlet vedovn vil varmen delvis varme rommet direkte via stråling og delvis overføre varme til en vannkappe via en varmeveksler, hvor varmen blir transportert videre til sentralvarmeanlegg. For å installere ny vedovn er det krav om at ovnen er rentbrennende i henhold til NS 3059. Oppnåelse av effektiv forbrenning skjer gjennom riktig lufttilførsel. Forbrenningstemperaturen blir ikke høy nok til effektiv forbrenning ved for lite lufttilførsel, og ved for mye vil ikke oppholdstiden til brennbare gasser fra veden være tilstrekkelig for fullstendig forbrenning (Stene, J., 2008).

Effektbegrepet er vanlig å anvende for vedovner. *Total effekt* er et mål for den totale varmeavgivelsen ved fyring. Korrigert for ovnens virkningsgrad får man *nominell effekt*, som kan beskrives som den nyttiggjorte effekten. Nytteeffekten fordeles så til henholdsvis rom og vann. Tapet kan finnes ved å trekke nytteeffekten ifra den totale effekten.

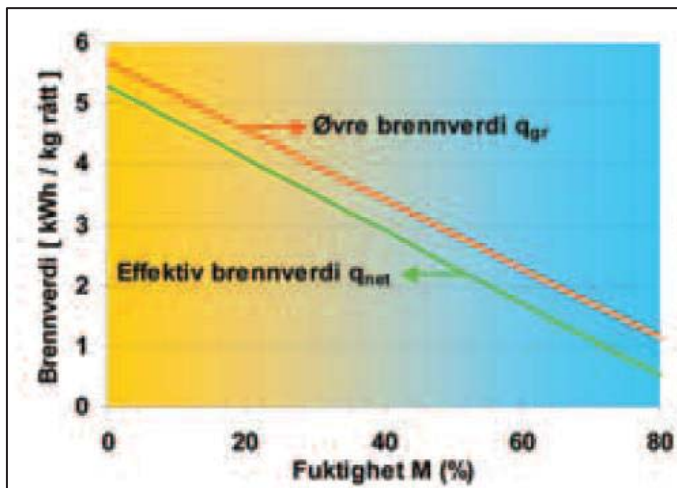
I denne studien er det valgt en Termorossella Plus-ovn produsert av La Nordica og levert av OCB. Ovnene er testet og godkjent av Sintef, se vedlegg I. Levetid for en slik ovn vil være fra 20-40 år (Bye, 2014).



Figur 2.4. Termorossella Plus ovn.

Ved

Ved omfatter trevirke fra bar- og løvtrær. Det er mange egenskaper ved ved som gjør den vanskelig å kvantifisere mht pris og effektiv brennverdi. I denne oppgaven vil fuktinnhold settes i henhold til anvisning fra ovnprodusent og forhandler. Figur 2.5. viser viser målt brennverdi i kWh per kg total vekt ved forskjellige fuktigheter fra rapport utarbeidet i prosjektet «Skogbrensel fra ungsog og sluttavvirkning» ved Norsk institutt for skog og landskap.



Figur 2.5. Øvre og effektiv brennverdi målt per kg total vekt ved forskjellige fuktigheter i brenselet (Belbo, H., Gjølshø, S., 2008).

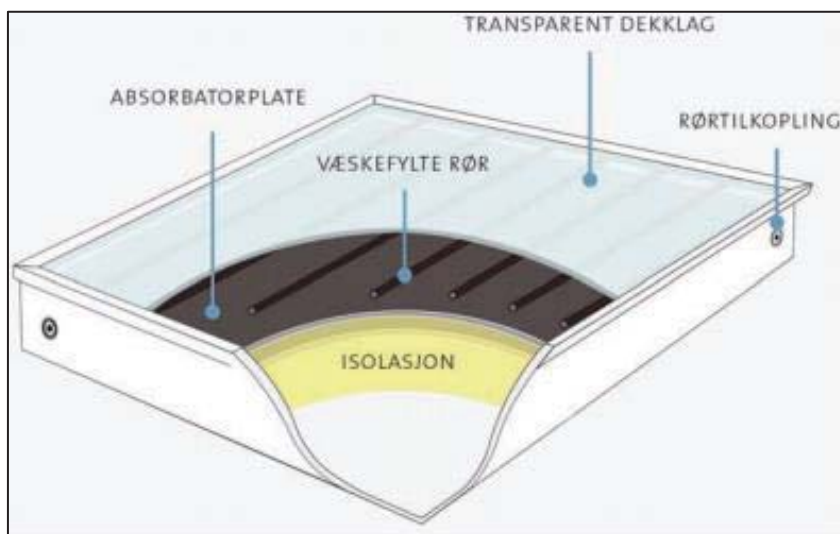
For å regne ut energipris for ved er det nødvendig å kjenne vedens tetthet. Pris på ved blir hovedsaklig gitt per volum. Dette sier lite om energipris, og er forøvrig et hett tema i vedbransjen. Utifra et tilbud kan følgende metode brukes for å finne pris i NOK/kWh:

- Finn middelværdi for massetetthet [kg/fm^3], fuktighet [%] og brennverdi [kWh/kg] av veden som blir tilbudt
- Finn volum av veden som blir tilbudt (for eksempel liter til fastkubikkmeter (fm^3))
- Divider på totalt volum [kr/fm^3]
- Divider igjen på produktet av massetetthet og brennverdi [kWh/fm^3]

Det er flere alternativer for anskaffelse av ved. I BOVEDSOL vil pris fra vedforhandlere, markedspris, og pris ved egeninnsats, kostpris, være gjenstand for analyse.

2.3.2. Plane solfangere

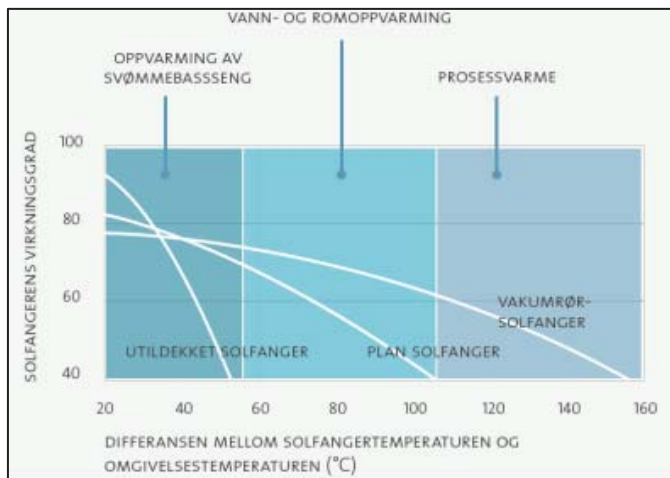
Plane solfangere omdanner solinnstrålingen til varme gjennom en absorptorplate (metall) og væskefylte rør som er koblet til sentralvarmeanlegget. Over metallplaten ligger et transparent dekklag som øker effektiviteten og under er det isolert for å minimere varmetap fra varmemediet. Figur 2.6. under viser oppbygning.



Figur 2.6. Oppbygning av plan solfanger (Andresen, I., 2008).

Forholdet mellom utnyttbar varmeproduksjon og mengden solinnstråling som treffer solfangeren utgjør solfangerens virkningsgrad. Ved økende solfangertemperatur vil virkningsgraden synke på grunn av høyere temperaturdifferanse mellom solfanger og omgivelser, og følgelig økt varmetap til omgivelsene. Dette forholdet illustreres i figur 2.7. på neste side. Inngangstemperatur til solfanger, dekkflatens soltransmittans, isoleringsegenskaper og absorptors evne til høy absorpsjon og lav emisjon vil i alt avgjøre en plan solfangers virkningsgrad (Andresen, I., 2008). Grovt sett vil optimal vinkling på

solfangere i Sør-Norge være rundt 40 grader mot horisontalplanet med en orientering slik at en normal mot overflaten peker direkte mot syd (Enova, 2011).



Figur 2.7. Typiske virkningsgradskurver for solfangere. Viser også bruksområder som er typiske for temperaturnivået (Andresen, I., 2008).

Anslagsvis 20 % av solinnstrålingen som treffer solfangeren vil gå tapt grunnet refleksjon. Optimal effektivitet, η_0 , er der solfangertemperaturen er lik utetemperaturen og ligger som regel rundt 80 %.

Ved optimal effektivitet er det 1. ordens varmetapskoeffisient, a_1 [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$], som regjerer. Når det er en temperaturdifferanse mellom utetemperatur og solfangertemperatur vil 2. ordens varmetapskoeffisient, a_2 [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^2$], være utslagsgivende. (EMD International, 2013)

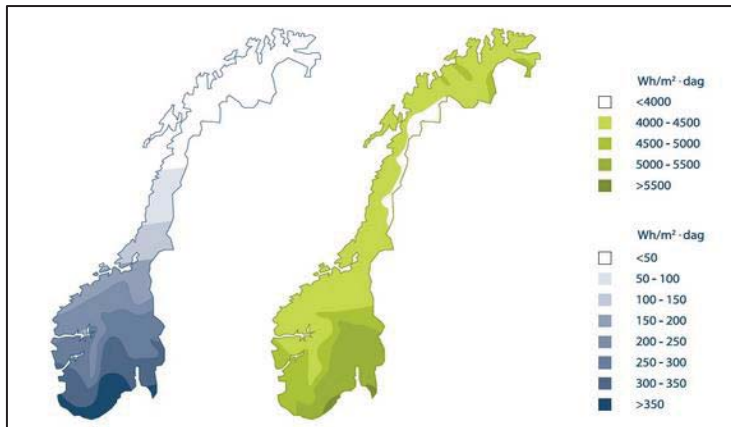
I denne studien er det valgt en plan solfanger, Flat Collector CPK 7210N (figur 2.8.), produsert av Centrometal og levert av OCB. Levetid på solfangere er usikkert, men kan forventes å være 20-30 år (Bye, 2014).



Figur 2.8. Plan solfanger, Flat Collector CPK 7210N.

Soldata

Nøyaktige data for solinnstråling er essensielt for god beregning/modellering av solfangeres bidrag mot et varmebehov. Innstrålingen i Norge mot en horisontalflate over et år er svært varierende, fra ca. 700 kWh/m² i nord til omtrent 1100 kWh/m² i sør, som vist i figur 2.9.



Figur 2.9. Solinnstråling i Norge mot horisontal flate henholdsvis i januar og juli (Andresen, I., 2008).

Global stråling mot et horisontalt plan består av direkte stråling, E_{dir} og diffus stråling, E_{dif} . For et tiltet plan følger også den reflekterte strålingen fra bakken (albedo), E_{ref} (KVT, 2013). Dette gir den totale stråling:

$$E = E_{dir} + E_{dif} + E_{ref}$$

2.3.3. Termisk akkumulering

En akkumuleringstank brukes for å lagre varme over kortere perioder. Spesielt er dette nødvendig for solvarme, da brukeren ikke vil klare å utnytte all varme som blir tilført i det sola skinner. Akkumulering vil også kunne gjøres i fyringssessong for vedovnen. Brukeren vil da kunne lagre mye av varmen ved fyring, som så kan hentes ut til romoppvarming (eller varmt tappevann) når det ikke fyres. Ved at akkumuleringstanken i dette studiet har en innebygget varmtvannsbereder øverst i tanken (se figur 2.10. på neste side), vil denne være førsteprioritet for oppvarming grunnet vannets termiske egenskaper. Videre fyring, eller soltilskudd, vil varme opp det resterende volumet, og det er her akkumuleringen i hovedsak skjer. Under varmtvannsberederen er det montert en elkolbe. Kolben vil begrense akkumuleringsevnen i øverste halvdel av tanken, da den er termostattert til å slå inn om temperaturen nederst i varmtvannsberederen, T_{midt} , går ned til 60 °C grunnet legionellafaren som da oppstår. Med begrenset akkumuleringsevne menes at ΔT fra formel på neste side vil

bli mindre grunnet «60-graders-grensen» midt i tanken. T_{topp} er høyeste temperatur i lageret, mens T_{bunn} er minste og settes lik returtemperatur til varmeavgivere (Bye, 2014).



Figur 2.10. CAS-BS 801. Akkumulatortank med innebygget varmtvannsbereder, elektrisk kolbe, varmeveksler for solvarme og tilkoblingsmuligheter for annen varmekilde (Bye, 2014).

Total akkumuleringsevne, E_{akk} , må for en CAS-BS 801 modell fremstilles som to separate tanker, øverste halvdel og nederste halvdel, hvor den ene har en temperaturredifferanse $\Delta T_{\text{øverst}} = T_{topp} - T_{midt}$, og den andre har temperaturredifferanse $\Delta T_{\text{nederst}} = T_{topp} - T_{bunn}$. Temperaturredifferansene multipliseres med tilhørende volum [l] og divideres på omregningsfaktor 860 [kcal/kWh] for så å legges sammen etterpå. Akkumuleringsevne er gitt ved formel:

$$E_{akk} = \frac{Volum * \Delta T}{860} \quad [\text{kWh}]$$

I EnergyPRO blir det angitt total akkumuleringsevne som en prosentandel av den *teoretiske akkumuleringsevnen*. Den teoretiske akkumuleringsevnen vil være E_{akk} uten begrensningen som elkolben representerer. ΔT_{total} , som er differansen mellom T_{topp} og T_{bunn} , og det totale volumet, vil da brukes i formel over.

Varmetapet fra akkumuleringstanken antas å være av betydning for resultatet, og vil således tas med i beregningene. Dette tapet, Q_T , beregnes dynamisk i EnergyPRO etter formelen:

$$Q_T = \frac{\lambda}{s} * \pi * \sqrt{\frac{V}{h * \pi}} * \left(2h + \sqrt{\frac{V}{h * \pi}} \right) * (T_{topp/bunn} - T_a) \quad [\text{W}]$$

hvor λ er det konduktive varmetapstallet for isolasjonen [$\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$], s er isolasjonens tykkelse [m], V er tankens volum i [m^3], h er tankens høyde [m], $T_{topp/bunn}$ er maksimal/minimal temperatur i akkumuleringstanken [$^\circ C$] og T_a er temperatur i tankens omgivelser [$^\circ C$] (EMD International, 2013). Størrelsesordener for CAS 801 BS er vist i vedlegg III.

Den dynamiske beregningen av varmetapet gjøres ved at tapet ved full og tom tank beregnes. Her er temperatur ved full tank, T_{topp} , gitt ved maks temperatur i akkumuleringstank, og temperatur ved tom tank, T_{bunn} , gitt ved minste temperatur. Alle varmetap imellom disse temperaturene beregnes lineært mellom fullt og tomt lager ved prosentregning. Temperatur i omgivelsene, T_a , er konstant og betyr i denne sammenheng temperatur i teknisk rom.

Energifleksibilitet

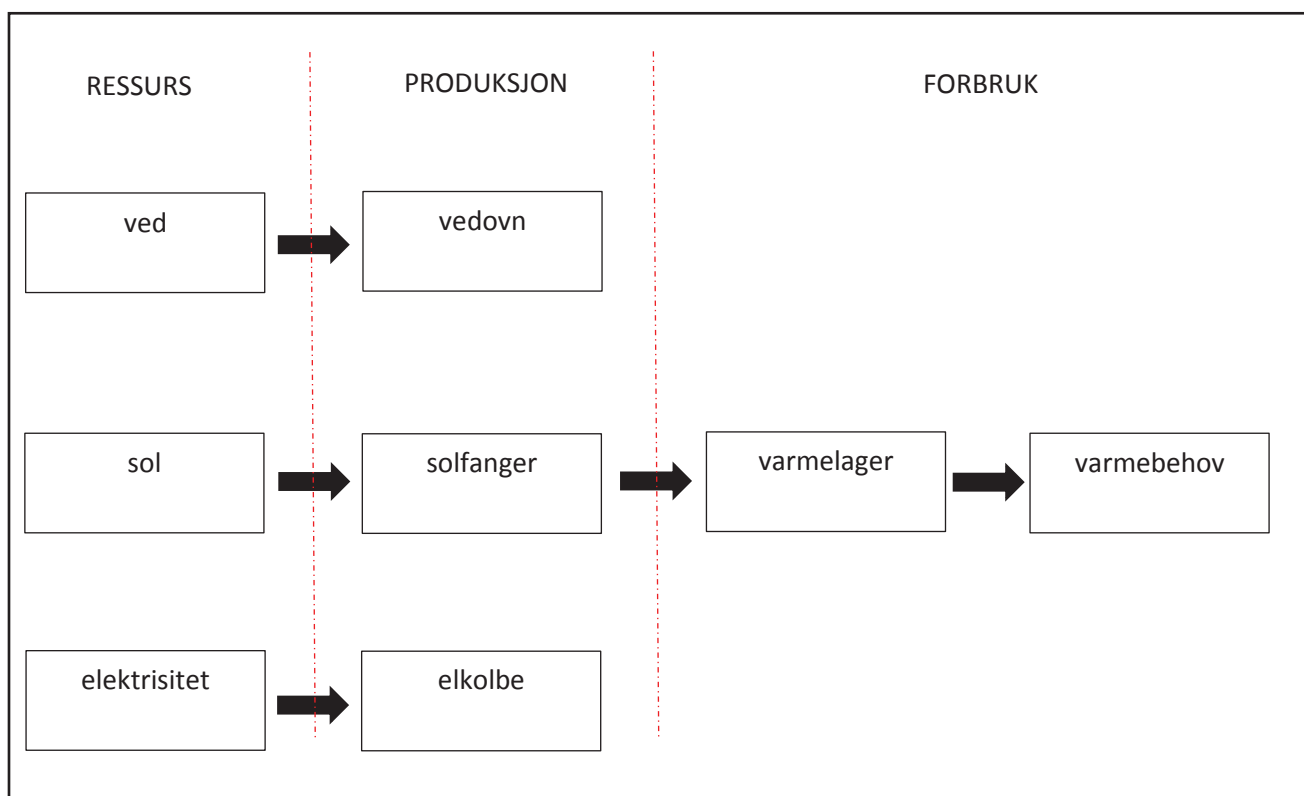
Akkumuleringstanken representerer i dette anlegget stor grad av energifleksibilitet. Ikke bare er fleksibiliteten gitt ved de tre varmekildene som dette studiet tar for seg (sol, elektrisitet og bio), men også ved muligheten for å koble til andre, alternative varmekilder, som for eksempel varmepumpe. Slik anlegget fremstår, vil bruker kunne ha mulighet til å gjøre beslutninger om foretrukket varmekilde bygget på privatøkonomiske eller idealistiske preferanser.

3. Modellen

3.1. EnergyPRO

Modellen er bygd opp ved hjelp av programmet EnergyPRO, et modelleringsverktøy utviklet av EMD International AS. Softwaren er typisk i bruk ved teknisk/økonomisk analyse av energisystemer eller prosjekter. Basert på et stort utvalg inndata og en brukerdefinert strategi for operasjonen, kan programmet gi en rekke forskjellige typer timesmessige optimaliseringer av operasjonsplanen.

I denne studien er EnergyPRO anvendt for å evaluere varmeenergiproduksjon, økonomi og bruk av et bio- og solbasert oppvarmingssystem i en tenkt enebolig. Når systemet er fullstendig beskrevet i en matematisk modell, vil programmet søke den mest optimale måten å supplere varme på timesbasis. Dette prinsippet er vist under i en skjematisk fremstilling av en EnergyPRO-modell.



Figur 3.1. Prinsippskisse over modell utviklet i EnergyPRO.

På venstre side vises de aktuelle energikilder. Videre mot høyre vises først de forskjellige produksjonsenheterne i systemet, som blir matet av sine respektive energikilder. Varmen

forsynes så til varmelageret og videre til varmebehovet. Varmebehovet skal til enhver time dekkes, og basert på både de tekniske begrensningene og kostnadene knyttet til hver produksjonsenhet, vil programmet finne den optimale driftsplanen. Dette gjøres ved å tildele hver produksjonsenhet et prioritetsnummer. Produksjonsenhetene blir så satt på etter behov, hvor førsteprioritet starter først. Tekniske begrensninger vil kunne overstyre denne prioriteringen.

For modellering av varmesystemet i denne oppgaven er strategi for optimalisering valgt ut ifra hypotese I om reduksjon av elektrisitet til oppvarming. Følgelig ble solvarme valgt som førsteprioritet, ettersom dette tilskuddet er gratis. Videre kommer vedfyring, og til slutt elektrisitet til den elektriske kolben.

3.2. Data og forutsetninger

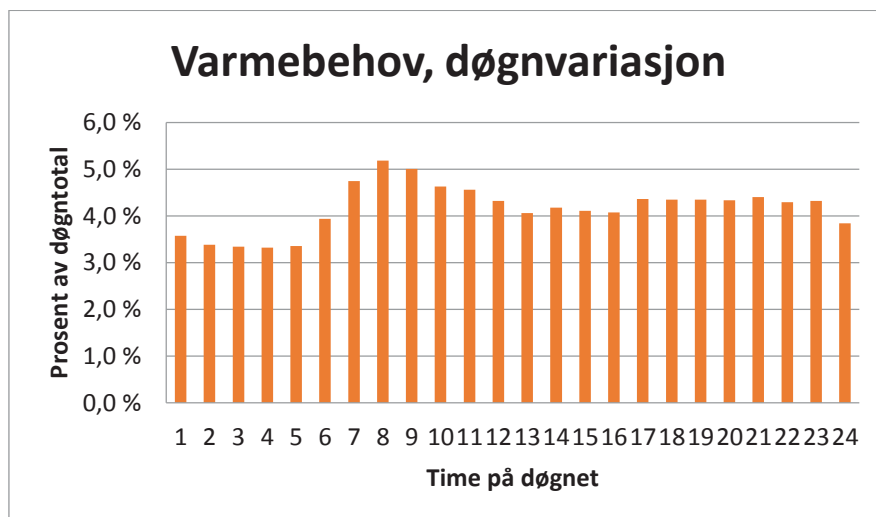
Under følger en beskrivelse av inndata og antagelser gjort ved modellering i EnergyPRO.

3.2.1. Varmebehov

Varmebehovet i modellen er basert på et totalt årlig behov for eneboliger av eldre standard (eksisterende snitt fra figur 2.3.). På grunn av vanskeligheter ved modellering av strålingsvarme, ble det et mål at varmebehovet for de forskjellige scenarier skulle treffe omtrentlig på 17 500 kWh/år, videre forklart i delkapittel for produksjonsenheter lengre ned i dokumentet. Timesvariasjoner for varmebehovet ble videre generert i programmet, hvor det var to faktorer som gjorde seg gjeldende:

- Døgnvariasjon av varmebehov på timesbasis (Statkraft Varme, 2013)
- Utendørstemperatur målt på Ås i 2013 (eKlima, 2014)

Døgnvariasjonene ble tilegnet gjennom behandling av en timesmessig varmeprofil for et prosjekt utført av Statkraft Varme AS (Statkraft Varme, 2013). Her ble levert energi fra fjernvarme målt for et titalls boliger i Trondheim i 2012. Fra denne profilen ble det valgt en døgnvariasjon som, enkelt fortalt, kunne representere alle dager i året. Her måtte det ut ifra skjønn bli en dag ifra en tid på året som representerte en viss grad av oppvarming nattestid (vinter), men samtidig ikke for mye, da det ikke er januar hele året. Valget falt på en gjennomsnittlig døgnvariasjon generert fra en arbeidsuke fra 12. til og med 16. mars 2012. Variasjonen over døgnet kan sees i figur 3.2. på neste side.



Figur 3.2. Døgnvariasjon, time for time, av totalt varmebehov over døgnet.

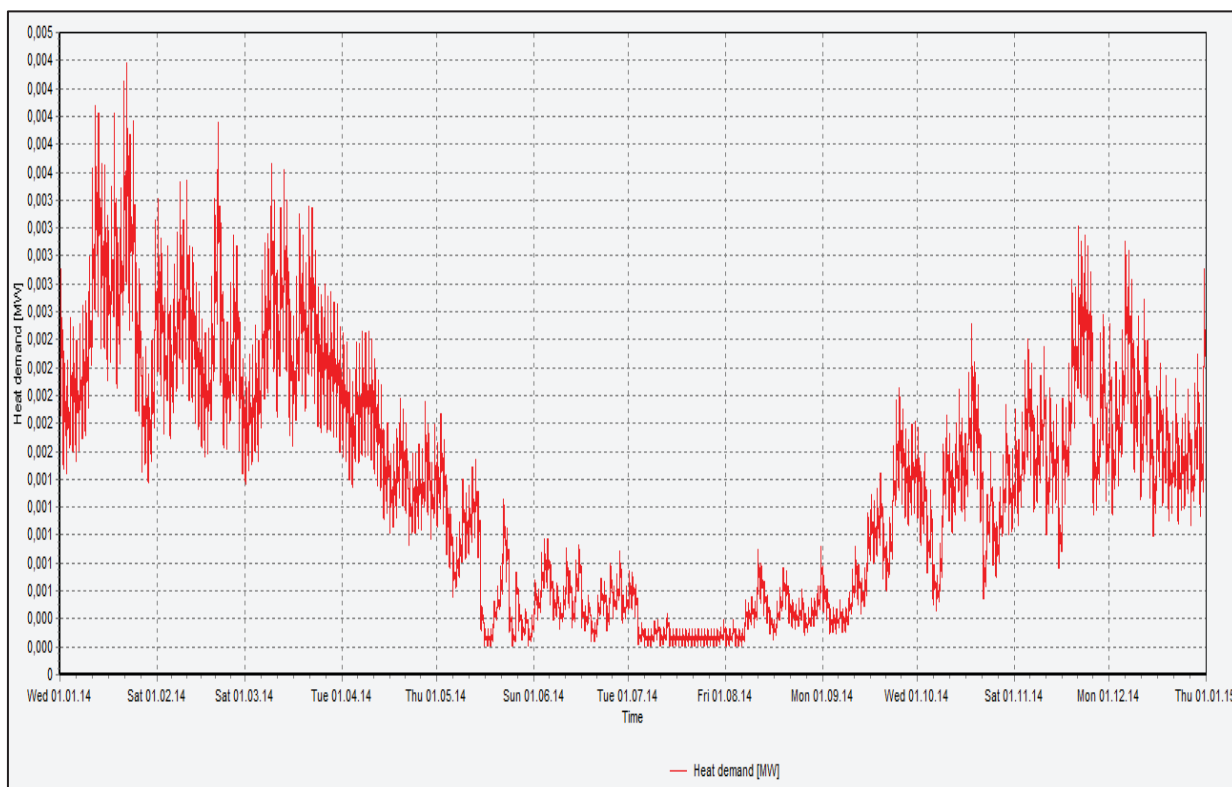
Av figuren på forrige side kan en se at behovet er størst om morgenen mellom klokken 07.00 og 11.00, for deretter å bli avtagende og ligge nogenlunde stabilt fram til midnatt, hvor behovet har et bunnivå gjennom natten. Denne variasjonen ble fastsatt, men utetemperaturen ville fortsatt justere nivået på varmebehovet per dag.

Forutsetningen for å anvende data for varmekonsum ifra Trondheim er at variasjoner i forbruk over døgnet regnes som meget sammenlignbare, uansett hvor i landet målingene er gjort. Det ble forventet at graddagskorrigering for Ås-klima 2013 ville tilpasse døgnvariasjonen for årstidene.

Utetemperatur målt på Ås i 2013 (eKlima, 2014) ble importert til modellen i timeserie. For varmebehovet har EnergyPRO en funksjon for graddagskorrigering, og med det vil behovet være høyt ved lave temperaturer og vice versa. Basistemperatur, T_{base} , ble satt til 17 °C i henhold til tabell 2.1.

Varmebehov for tappevann er overveid som likt over alle dager i året, uavhengig av utetemperatur. Det ble antatt i modellen at denne delen av varmebehovet står for 15 prosent av det totale årlige behovet.

Det modellerte varmebehovet for en enebolig på Ås med graddagskorrigerte døgnvariasjoner for Ås-klima 2013 vises i figur under, hvor vertikal akse er varmebehov i MW og horisontal akse er tid på året.



Figur 3.3. Modellert varmebehov for enebolig på Ås for 2014. Grafen viser varmebehov i MW over året. Datoen på horisontal akse sier 2014 fordi det er januar 2014 som er modellens startpunkt.

3.2.2. Varmeproduksjon

I tabell 3.1., 3.2. og 3.3. er tekniske nøkkeltall for produksjonsenhetene som er med i modelleringen. Dataene er hentet fra litteraturstudie og samtaler med produktansvarlig ved OCB.

Tabell 3.1. Tekniske nøkkeltall for vedfyrte ovn med vannkappe, Termorossella Plus D.S.A. (Bye, 2014). Ovnens yteevne er kontrollert og godkjent av Sintef, vedlegg I.

Produkt	Total varmeeffekt [kW]	Nominell effekt [kW]	Nytteeffekt til vannet [kW]	Nytteeffekt til rommet [kW]	Virkningsgrad [%]
Vedovn, Termorossella Plus D.S.A.	17,3	13,5	10,5	3,0	81

Vedovnsens fyringssessong er avsluttet ved 15. mai og begynner igjen 15. september hvert år. Bak denne beslutningen lå forventningen om, opp imot, tilstrekkelig tilskudd av solvarme til

systemet i sommermånedene fra hypotese III, og eliminering av uønsket strålingsvarme til klimaskallet sommerstid.

Av tabell 3.1. kom det frem at vedovnen har en nytteeffekt til rommet på 3 kW. I modelleringen viste dette seg å være et problem, da EnergyPRO ikke er kompatibelt med modellering av strålingsvarme som et tilskudd mot varmebehovet. Løsningen ble å tilføre strålingsvarmen fra vedovnen etter endt modellering. Nytteeffekten til rommet ble antatt å være hundre prosent avhengig av utetemperatur. I det henseende ble det nødvendig å tilpasse prosentandel av varmebehovet som er avhengig av utetemperatur i modellen, for så å korrigere dette opp imot strålingstilskuddet i etterkant. Dette medførte at modellen måtte testkjøres ved forskjellige temperaturavhengige prosentandeler, 80-83 %. Resultatene fra disse modelleringene ble så satt opp imot det aktuelle tilskuddet fra vedovnens strålingsvarme, som i hvert tilfelle var avhengig av antall fyringstimer per år.

Dette vanskeliggjorde også fastsettelsen av en total for varmebehov, da strålingstilskuddet varierte i de forskjellige scenarier (en passiv bruker vil også få mindre tilskudd fra vedovnen). Testkjøringer måtte også her gjøres, for å tilpasse det totale varmebehovet til aktuelt strålingsbidrag, slik at totalt varmebehov landet på ønskelige 17 500 kWh/år.

Forøvrig blir nytteeffekt til rom sett på som et bidrag mot det totale varmebehovet, og det forutsettes her effektiv varmedistribusjon til hele klimasonen (oppvarmet del av bygget).

Tabell 3.2. Tekniske nøkkeltall for solfanger, Plane Collector CPK 7210N (Bye, 2014). Vedlegg II viser fullstendig oversikt for solfangeren.

Produkt	Optima I effektivitet, η_0 [%]	Første ordens varmetapskoeffisient, a_1 [W/m ²]	Andre ordens varmetapskoeffisient, a_2 [W/(m ² * K) ²]	Absorbatorareal per stk. [m ²]	Vinkling mot horisontalplanet [°]	Orientering mot syd [°]
Solfanger, Plane Collector CPK 7210N	81,8	3,29	0,0134	1,8	35	0

Solvarmesløyfen har en turtemperatur som i virkeligheten er en dynamisk enhet, hvor forandring i temperatur over varmeveksleren vil være avhengig av akkumulatortankens temperatur i nederste sjikt av tanken samt returtemperaturen til varmeveksler fra solfangerene. I EnergyPRO kan denne turtemperaturen settes som en tidsserie, men det er avhengig av målinger. I dette studiet er tur- og returtemperaturen til solvarmesløyfen satt til konstant på henholdsvis 35 °C og 90 °C.

Tabell 3.3. Tekniske nøkkeltall for elektrisk kolbe (Bye, 2014).

Produkt	Effekt [kW]	Virkningsgrad [%]
Elektrisk kolbe	6	100

Elkolben er termostattyrt og vil aktiveres når temperaturen midt i akkumuleringstanken når 60 °C.

Bruk av vedovn

For vedovnen var det ønskelig å operere modelleringen under to forskjellige scenarioer. Det første scenarioet la til grunn en aktiv bruker, mens det andre scenarioet tok for seg en passiv. En aktiv bruker er definert som villig til/ønsker å fyre aktivt i vedovnen i sine tilgjengelige timer, før og etter en normal arbeidsdag. En passiv bruker er derimot definert som ikke tilgjengelig/villig til å fyre i vedovnen mer enn noen timer hver kveld. Disse scenarioene ble lagt til grunn for å teste hypotese II. Tabell 3.4. på neste side illustrerer den aktive og den passive brukerens tilgjengelighet i henholdsvis ukedager og helger, hvor 1 betyr tilgjengelig og 0 betyr utilgjengelig.

Tabell 3.4. Oversikt over brukervane for fyring i vedovn. 1 betyr bruker er tilgjengelig og villig til å fyre, 0 betyr bruker ikke er tilgjengelig/ikke er villig til å fyre.

	Ukedager		Helg	
Time på døgnet	Aktiv	Passiv	Aktiv	Passiv
06-07	0	0	0	0
07-08	1	0	1	0
08-09	1	0	1	0
09-10	0	0	1	0
10-11	0	0	1	0
11-12	0	0	1	0
12-13	0	0	1	0
13-14	0	0	1	0
14-15	0	0	1	0
15-16	0	0	1	0
16-17	0	0	1	0
17-18	1	0	1	0
18-19	1	0	1	0
19-20	1	0	1	0
20-21	1	1	1	1
21-22	1	1	1	1
22-23	1	1	1	1
23-00	1	0	1	0

Tilgjengelighetstimene er importert i modellen som en tidserie som time for time tar for seg den respektive brukerens vaner ovenfor vedovnen gjennom året. Tidsseriene ble multiplisert inn i vedovnens effektkurve i EnergyPRO ved sine respektive scenarioer.

Forøvrig så forutsettes det optimal forbrenning ved bruk av vedovnen, som tilsvarer omtrentlig 4 kilo biomasse per time. Opptrapping og nedtrapping ved start og slutt av forbrenning er ikke tatt høyde for.

3.2.3. Termisk akkumulering

Akkumuleringstanken opererer med forskjellige temperaturer og differansen mellom dem er utslagsgivende for lagringsevnen. For høyeste temperatur, T_{topp} , er det valgt 90 °C. For laveste temperatur, T_{bunn} , er det valgt 25 °C (Bye, 2014). T_{bunn} er i dette henseende å regne som returtemperaturen til gulvvarmedistribusjonen. I midten av tanken, hvor elkolben er installert, vil temperaturen være minimum 60 °C. Disse temperaturene legger grunnlaget for den teoretiske og faktiske lagringsevnen til akkumuleringstanken som vises i tabell 3.5.

Tabell 3.5. Lagringsevne for akkumuleringstank. Viser den reelle lagringsevnen, med aktuelle temperaturdifferanser, og som en prosentandel av den teoretiske. Vedlegg III viser størrelsesordener for akkumuleringstanken.

	Temperaturdifferanse [°C]	Volum [l]	Lagringsevne [kWh]	Andel [%]
Teoretisk	$\Delta T = 90 - 25 = 65$	800	60,47	100
Faktisk	$\Delta T_{\text{øverst}} = 90 - 60 = 30$	400	44,18	73,1
	$\Delta T_{\text{nederst}} = 90 - 25 = 65$	400		

Varmtap fra termisk lager, Q_T , er ikke regnet med som et bidrag mot varmebehovet, men snarere et reelt tap som må dekkes av produksjonsenhetene.

3.2.4. Klima

En modell i EnergyPRO forutsetter gode klimadata. Dette var viktig for modellering av varmebehov, som nevnt over. Også for solfangerene var gode inndata for solinnstråling og utetemperatur svært avgjørende, for å tilegne modellen så riktige tilskudd av solvarme som overhodet mulig for hver time.

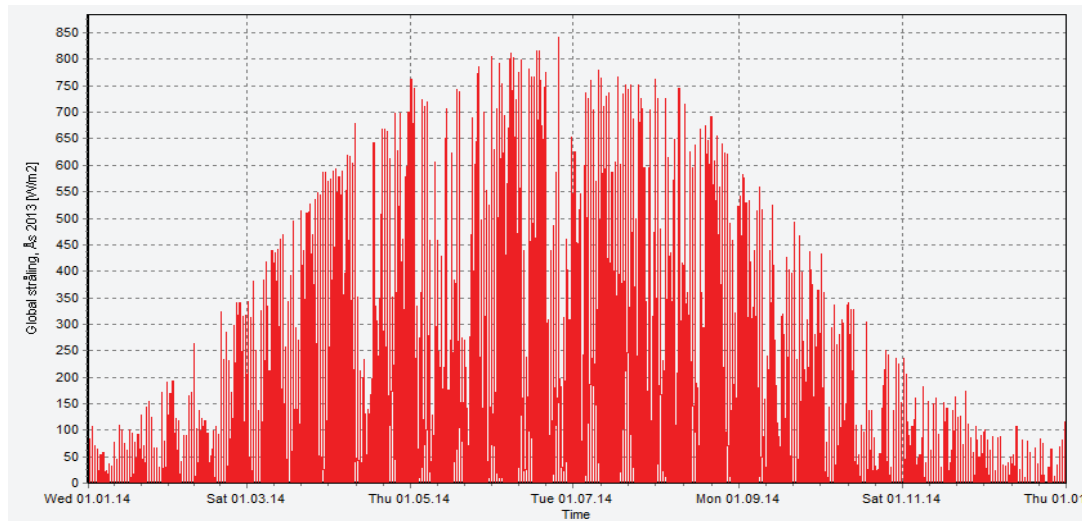
Temperatur

Inndata for utetemperatur ble importert til modellen i timestserie, som nevnt tidligere. Temperaturer for 2013 fra Ås ble lagt til grunn (eklima, 2014). Dataserien hadde flere hull, hvor det er nærliggende og tro at måleapparater har vært ute av drift. Manglende data ble supplert med temperaturdata for gjeldende tidspunkter fra Gullholmen meteorologiske stasjon i Moss i Østfold. Etter studie av flere stasjoner ble denne sett på som mest sammenlignbar. I tabell 3.5. på neste side vises det til linken mellom temperaturer og pris for

elektrisitet, og av den grunn ble temperaturvariasjonene fra 2013 beholdt gjennom alle årene i tidsperioden.

Solinnstråling

Timesmålinger for global solinnstråling, E , for Ås 2013 ble importert til modellen (Thue-Hansen, V. og Grimenes, A. A., 2014). Solinnstrålingen [W/m^2] er fremstilt over tid i figur 3.4.



Figur 3.4. Global solinnstråling [W/m^2], time for time, på Ås (Thue-Hansen, V. og Grimenes, A. A., 2014).

Valget av 2013 som referanseår ble gjort for å opprettholde samspillet mellom solinnstråling og utetemperatur. Samtidig vil disse dataene gi reelle «topper» i solinnstrålingen, noe gjennomsnittlige måldata vil mangle. Stråling under 10 W/m^2 har ikke blitt registrert.

3.2.5. Vedpris

Pris på ved var vurdert som en sterk pådriver for lønnsomhet/kostnadsbesparelse i dette studiet, som det kommer av hypotese IV. For å teste denne hypotesen ble det sett på systembrukere med forskjellige forutsetninger for tilgang til, og uthenting av biomasse. Lagt til grunn for utregningene ligger et fuktinnhold på under 20 % (Bye, 2014), en tetthet på blandingsved på 450 kg/m^3 (Norsk Ved, 2014), og en tilhørende effektiv brennverdi på $4,3 \text{ kWh/kg}$ rått materiale fra figur 2.5. side 13. To scenarioer for pris ble valgt, satt i system i tabell 3.6. på neste side i henhold til metode fra delkapitell 2.3.1. Vedpriser ble satt til å følge et indekstall for inflasjon for videre år i tidsperioden.

Tabell 3.6. Oversikt over to scenarioer av vedpris og energipris for brukere med forskjellige forutsetninger for tilgang til biomasse.

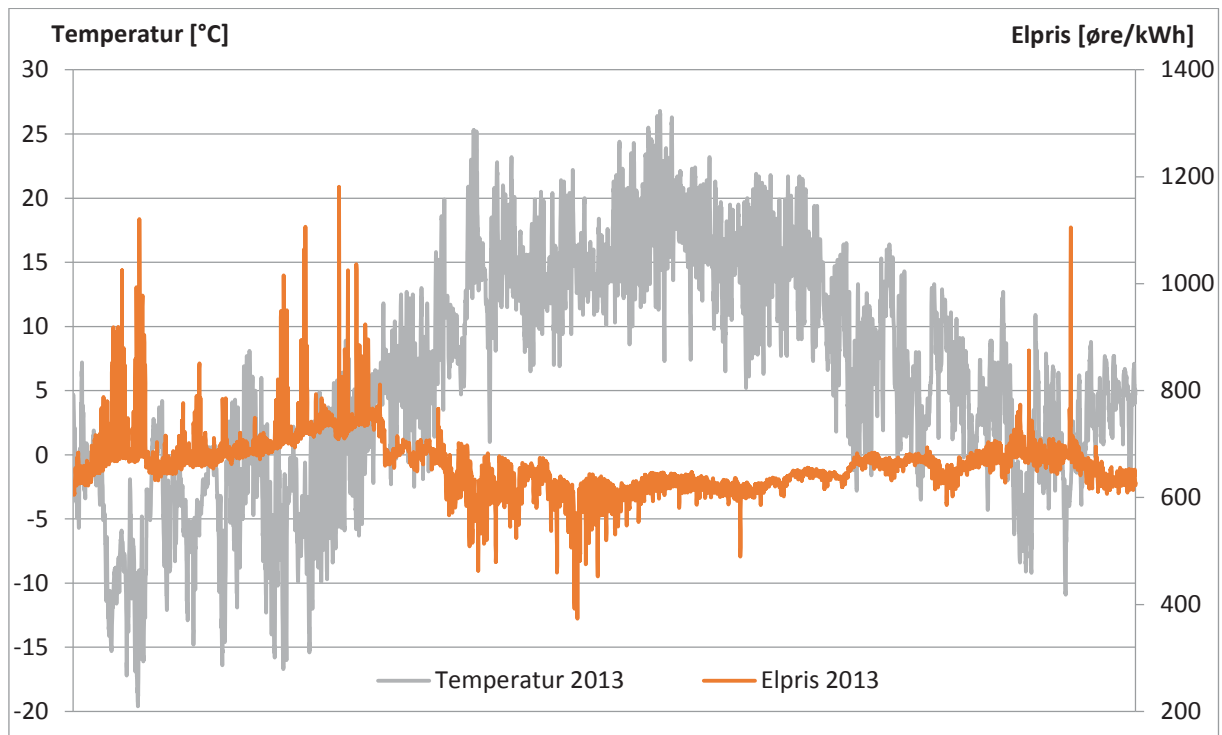
Scenarioer	Vedpris [NOK/kg] (20 % fuktighet)	Energipris [NOK/kWh]
I	2,9	0,67
II	0,215	0,05

Det første scenarioet legger til grunn en bruker som går til forhandler for ved. Markedspris for ved i 2012 ble funnet til å være 945 NOK for en hydrosekk (1500 liter) med blandingsved (Norsk Ved, 2012). Korrigert for inflasjon ble prisen for 2014 satt til 983 NOK/hydrosekk. Prisen er et gjennomsnitt for vedprodusenter som er medlem av Norsk Ved på Østlandet og regnes som representativ.

Det andre scenarioet legger til grunn en bruker med forutsetninger for uthenting av biomasse «for egen maskin» til kostpris. Med det menes at bruker har tilgang til biomasse ved å være grunneier selv eller å ha avtale med grunneier(e) (eventuelt ved andre proaktive metoder), har fysisk grunnlag for å utføre jobben hver vår og, til slutt, at vedkommende ser på dette arbeidet som en hobby, noe han/hun med glede utfører. Pris for ved ble for dette scenarioet da satt til 0,05 NOK/kWh for å dekke utstyr og driftskostnader.

3.2.6. Elpris

Pris for elektrisitet er brukt ved modellering og er hentet som timesserie fra NordPoolSpot og Hafslund Nett. Priser for 2013 er anvendt. For framskrivning av elpriser er det blitt brukt indekstall fra Klimakurs' framskrivning av energipriser til 2020 og 2030, men prisvariasjonene fra 2013 er beholdt gjennom hele tidsperioden. Slik er, som nevnt tidligere, linken mellom utetemperatur og elpris blitt bevart, og med det også linken mellom elpris og varmebehovet. I figur 3.5. på neste side er timesseriene vist.



Figur 3.5. Timesserie av utetemperatur og elpris på Ås for 2013 (eKlima, 2014; NordPoolSpot, 2014; Hafslund Nett, 2014).

Som en kan se av figuren, så er tendensen at elprisen er høyest der temperaturen er lav og lavest der temperaturen er høy.

Basert på framskrivning av spotpriser fra 2020 til 2030, henholdsvis 48 øre/kWh og 67 øre/kWh (Klimakur 2020, 2010), er årlig økning i spotpris funnet til 1,39 % i året ved en enkel lineær tilnærming. Elpriser i denne studien er en sum av spotpris og energileddet i nettleien for boliger på Ås. Denne summen er antatt at følger samme årlige økning i pris.

Energileddet for 2013 er 38,65 øre/kWh vinter (nov-mar) og 36,25 øre/kWh sommer (apr-okt), som er inklusiv merverdiavgift på 25 %, påslag for lovpålagt innbetaling til energifondet på 1 øre/kWh og forbruksavgift på elektrisk strøm på 11,61 øre/kWh (Hafslund Nett, 2014). Sesongvariabel nettleie er valgt på grunn av forventningen om sparing av levert elektrisitet til oppvarming, som det kommer av hypotese I, og forventningen reduksjon av elforbruk vil være avhengig av vedovns bruk, som det kommer av hypotese II.

Sparingen av elektrisk kraft er sett på som inntjeningen, og er derfor blitt linket opp mot varmebehovet time for time. Som nevnt i kapittel 2, er dette et positivt bidrag til de løpende kapitalkostnadene ved innkjøp av alternativ energi til oppvarming (ved).

For å teste hypotese IV er modellen blitt kjørt med en alternativ elpris. Denne er satt til 60 prosent høyere spotpris med opprinnelig nettleie. Kraftprisen følger også her en stigning på 1,39 % i året. Altså opereres det med to elpriser; normal og høy.

3.2.7. Investeringer

I vedlegg IV-VI vises tre forskjellige tilbud fra OCB for et varmeanlegg. Ut ifra disse tilbudene er det skreddersydd en passende investering, vist i tabell 3.7. Investeringen omfatter i hovedsak en vedovn, fem solfangere, en akkumulatortank med elkolbe, styringsskap, gulvvarme og installasjon (nødvendige, små komponenter er og inkludert).

I et prosjekt som dette vil falle inn under kategorien *støtte til energiltak i bolig* fra Enova. Satsene for støtte ligger på 20% av investering i solfangeranlegg (maks 10.000 NOK) og 20% av investering i omlegging fra elektrisk oppvarming til fornybar vannbåren varme (maks 20.000 NOK).

Tabell 3.7. Investeringskostnad for aktuelt varmeanlegg med støtte fra Enova.

Investering/støtte	Kostnad [NOK]
Investering før støtte	217 000
Ekstra deler (slidedeler)	+ 3 000
- Støtte til solfangeranlegg	- 10 000
- Støtte til omlegging el → bio	- 20 000
Total investeringskostnad	190 000
Alternativ investeringskostnad	114 000

Investeringskostnader regnes som en avgjørende faktor for lønnsomhet, som det kommer av hypotese IV. For å teste dette kjøres modellen også med en alternativ investeringskostnad som er betraktelig lavere. Denne summen kan representere en enklere løsning for distribusjonssystem (gulvvarme erstattes med radiatorer eller viftekonvektorer). Styringsskapet blir da overflødig, og reduksjon i totalpris er betraktelig (se tilbud 3 fra OCB i vedlegg VI). Pris for varmeavgivere er ikke med i kostnaden, og det regnes maks støtte fra Enova.

3.2.8. Inflasjon og nåverdi

For økonomisk analyse er det i studiet satt inflasjon til 2 % og kalkulasjonsrente på 5 %.

Levetiden til anlegget er satt til 25 år.

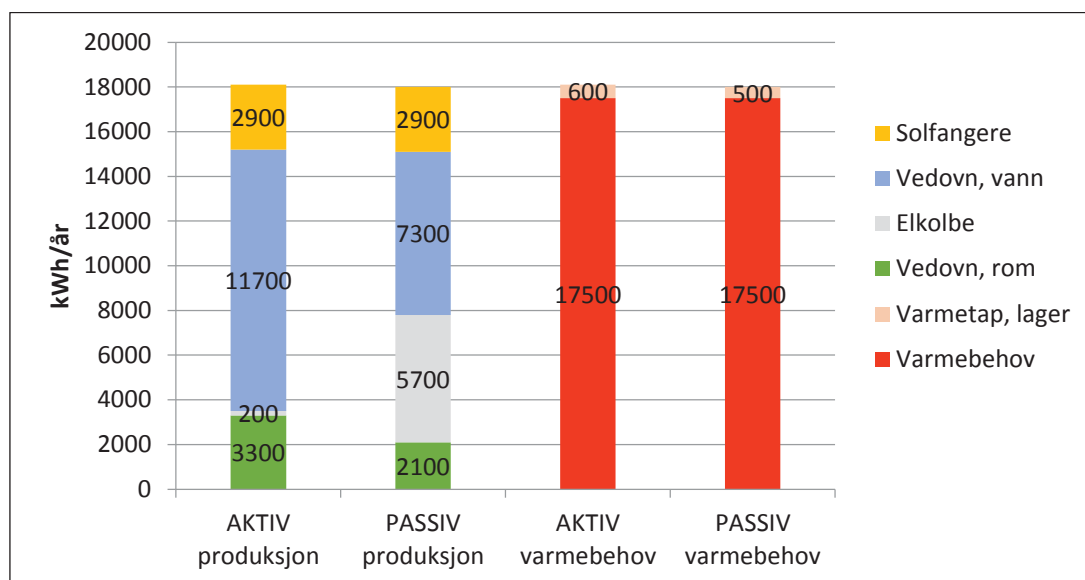
4. Resultater

4.1. Oppsett

For fremstilling av resultater er det valgt å presentere de to brukerne av varmeanlegget beskrevet i forrige kapittel, *aktiv og passiv bruker*. Videre scenarioer for alternative energipriser og investeringskostnader vises til i lønnsomhetsberegningene. Resultatene vil være gjenstand for videre diskusjon og konklusjon.

4.1.1. Oppvarming

Reduksjon av elforbruk til oppvarming ble vurdert som avhengig av tilført varme fra solfangere og brukers tilnærming til bruk av vedovnen. Ved å se på to scenarioer for bruksvaner ovenfor vedovn, en aktiv og en passiv, vil et grunnlag for videre analyse av oppvarming av enebolig være lagt. I figur 4.1. vises produksjonsenhetenes andeler av det totale varmebehovet.

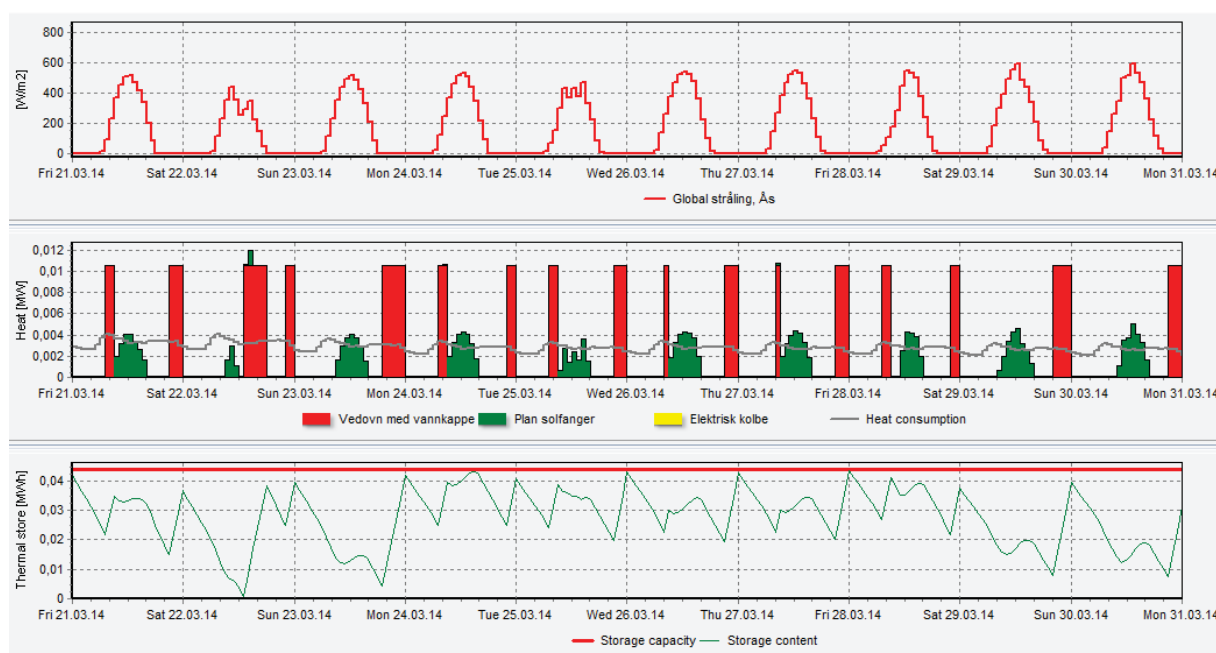


Figur 4.1. Oversikt over årlig varmeproduksjon og varmebehov for AKTIV og PASSIV bruker [kWh/år].

Som det kommer av figuren er det en klart større reduksjon av elforbruk ved en aktiv bruk av vedovnen. Differansen på 5500 kWh/år er knyttet til elforbruk i fyringssesongen, og er et direkte resultat av brukers holdning til sin vanmantlede vedovn. Forøvrig har aktiv og passiv bruker et vedforbruk på henholdsvis 4,5 og 2,8 tonn. Solvarmetilskuddet er det samme for begge brukere.

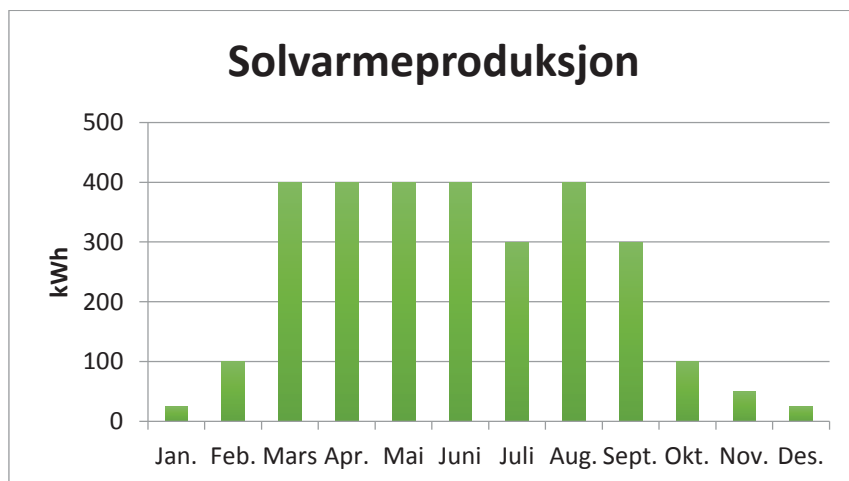
Resultatene viser at en aktiv bruker dekker 99 prosent av årlig varmebehov gjennom vedovn og solfangeranlegg. En passiv bruker har tilsvarende dekning på 68 prosent.

Under, i figur 4.2., vises et ti dagers forløp i mars måned av varmeproduksjon fra vedovn og solfangere. Mars er en kald måned, og behovet for varme er dermed stort. Poenget med figuren er å vise samspillet mellom produksjonsenhetene for å dekke varmebehovet. Solfangerene, som er førsteprioritet, viser her sitt fulle potensial og bidrar til å avlaste vedovnen ganske betraktelig.



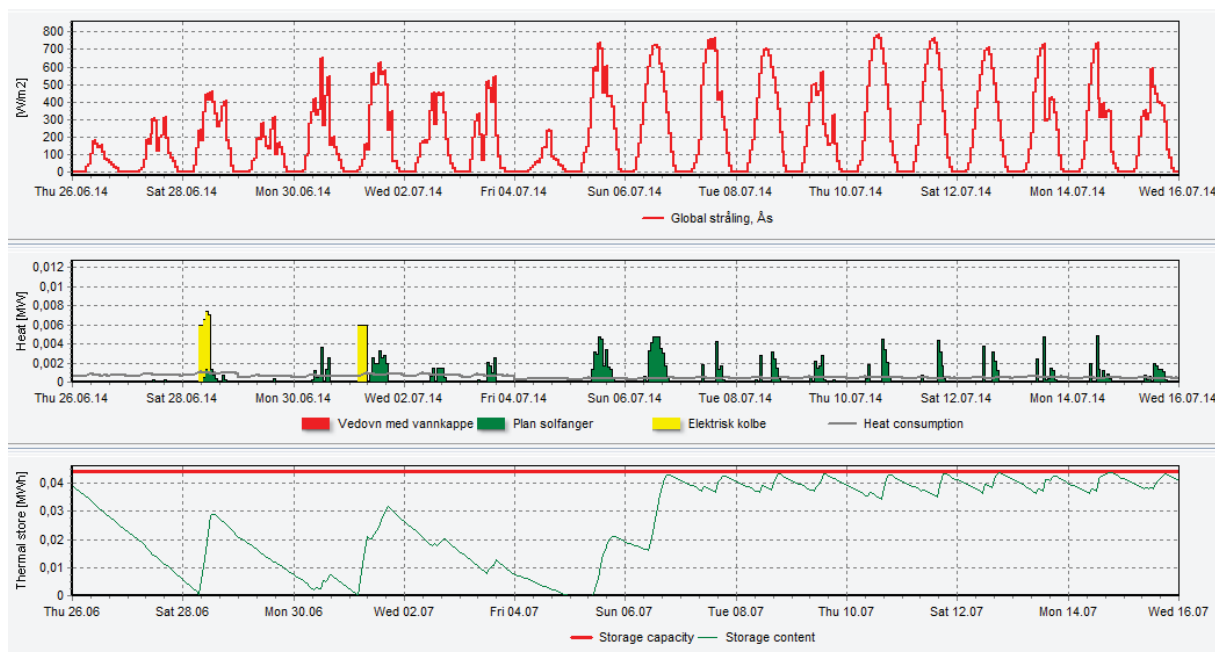
Figur 4.2 Oversikten viser samspillet mellom tilført varme fra solfangere og vedovn. Horisontal akse er tid. Solinnstrålingen [W/m^2] vises i øverste graf. Solfangerenes og vedovnens effekt [MW] vises som henholdsvis grønne og røde bolker i midterste graf, hvor grå linje er varmebehovet. Den nederste grafen viser varmelagerets akkumulering som en respons på varmetilskuddene [MWh]. Nullpunktet i denne grafen er hvor energiinnholdet ikke kan bli lavere, og temperatur i midten av tanken tilsier da at elkolben slår seg på.

Det totale solvarmebidraget fra solfangerene er på 2900 kWh per år. Det er omtrent 320 kWh per m^2 solfanger i året. I figur 4.3. på neste side vises varmeproduksjon fra solfangerene månedsvis over året. Figuren viser at i vintermånedene (nov. – feb.) er solvarmetilskuddet svært lavt, fra 25 til 100 kWh per måned. Resterende måneder viser til et godt og jevnt solvarmetilskudd fra 300 til 400 kWh per måned.



Figur 4.3. Solvarmeproduksjon gjennom året [kWh].

Utenfor fyringssesongen er soltilskuddet tilstrekkelig til å dekke 88 prosent av varmebehovet, med 1500 kWh av totalt 1700 kWh. Figur 4.3. viser et typisk forløp for solvarmetilskuddet utenfor fyringssesongen.



Figur 4.4. Typisk forløp for solvarmetilskudd i tyve dager utenfor fyringssesongen. Horisontal akse er tid. Øverste graf viser den globale solinnstrålingen, E [W/m²]. Den midterste grafen viser nyttiggjort solinnstråling fra solfangerene (grønt) [MW], mens gule søyler viser hvor elkolben slår inn [MW]. Varmebehovet er svært lavt, men kan skimtes som en grå linje. Den nederste grafen viser varmelagerets akkumulering som en respons på varmetilskuddene [MWh]. Nullpunktet i denne grafen er hvor energiinnholdet ikke kan bli lavere og temperatur i midten av tanken tilsier da at elkolben slår seg på.

Figuren viser at der innstrålt solvarme ikke er tilstrekkelig (øverste graf), vil akkumulert varme i lageret synke (nederste graf) helt til elkolben slår inn (gul bolke i midterste graf). Der

solforholdene er tilstrekkelig kan det observeres at varmelageret blir fylt opp til maks hver dag (fra 06.07.2014), uten at potensialet fra sola blir fullt ut utnyttet. Her setter det lave varmebehovet begrensningen for utnyttet solvarme.

4.1.2. Langsiktig lønnsomhet

Langsiktig lønnsomhet ble utforsket ved at BOVEDSOL simulerte to scenarioer av pris for ved, en pris for innkjøpt ved til markedspris og en en pris for egenprodusert ved, over en levetid på 25 år. Videre ble det simulert lønnsomhet hvor elpris og investeringskostnad også var gjenstand for variasjon. I tabell 4.1. til 4.4. vises lønnsomheten av investeringene for aktiv og passiv bruker ved forskjellige forutsetninger.

Tabell 4.1. Langsiktig lønnsomhet for AKTIV og PASSIV bruker med to scenarioer for vedpris, normal elpris og normal investeringskostnad. Kontroll av rentekravet er med, hvor $i = 4,0\%$.

Bruker	Vedpris	Elpris	Investering	Levetid	Nåverdi [NOK]		Tilbakebet.
	[NOK/kWh]	[norm/høy]	[NOK]	[år]	$i = 5,0\%$	$i = 4,0\%$	[år]
AKTIV	0,67	Normal	190 000	25	-220 210	-222 152	-
	0,05	Normal	190 000	25	-8 399	13 654	16,2
PASSIV	0,67	Normal	190 000	25	-197 317	-197 153	-
	0,05	Normal	190 000	25	-65 876	-50 753	21,6

Av tabell 4.1., som er «normal-scenarioet», kommer det at en aktiv bruker med egenprodusert ved har høyest lønnsomhet og en tilbakebetalingstid på kun 16,2 år. Etter det er det passiv bruker med egenprodusert ved som har høyest lønnsomhet med en tilbakebetalingstid på 21,6 år.

Tabell 4.2. Langsiktig lønnsomhet for AKTIV og PASSIV bruker med to scenarioer for vedpris, normal elpris og lav investeringskostnad.

Bruker	Vedpris	Elpris	Investeringskost.	Levetid	Nåverdi	Tilbakebetaling
	[NOK/kWh]	[normal/høy]	[NOK]	[år]	[NOK]	[år]
AKTIV	0,67	Normal	114 000	25	-144 210	-
	0,05	Normal	114 000	25	67 601	10,8
PASSIV	0,67	Normal	114 000	25	-121 317	-
	0,05	Normal	114 000	25	10 124	14,8

Tabell 4.3. Langsiktig lønnsomhet for AKTIV og PASSIV bruker med to scenarioer for vedpris, høy elpris og normal investeringskostnad.

Bruker	Vedpris [NOK/kWh]	Elpris [normal/høy]	Investeringskost. [NOK]	Levetid [år]	Nåverdi [NOK]	Tilbakebetaling [år]
AKTIV	0,67	Høy	190 000	25	-166 546	-
	0,05	Høy	190 000	25	45 265	13,2
PASSIV	0,67	Høy	190 000	25	-161 411	-
	0,05	Høy	190 000	25	-29 969	17,9

Tabell 4.4. Langsiktig lønnsomhet for AKTIV og PASSIV bruker med to scenarioer for vedpris, høy elpris og lav investeringskostnad.

Bruker	Vedpris [NOK/kWh]	Elpris [normal/høy]	Investeringskost. [NOK]	Levetid [år]	Nåverdi [NOK]	Tilbakebetaling [år]
AKTIV	0,67	Høy	114 000	25	-90 546	-
	0,05	Høy	114 000	25	121 265	8,8
PASSIV	0,67	Høy	114 000	25	-85 411	-
	0,05	Høy	114 000	25	46 031	12,0

Samme tendensen kan følges gjennom alle scenarioer. Brukere har bedre lønnsomhet med lavere investeringskostnad og med høyere elpris. Det er kun brukere med forutsetninger for å produsere egen ved som opplever at oppvarmingsanlegget har en inntjeningstid innenfor levetiden på 25 år. Ikke overraskende er inntjeningstid kortest, og nåverdi høyest, der høye elpriser og lav investeringskostnad legges til grunn.

I scenarioet i tabell 4.2. vises det at et rimeligere anlegg kan redusere aktive og passive brukeres inntjeningstid med hele 33 og 31 prosent målt opp imot «normal-scenarioet» i tabell 4.1. En positiv nåverdi blir også oppnådd.

Med innkjøpt ved til markedspris viser resultatene at passiv bruker har høyere lønnsomhet enn aktiv bruker i alle scenarioer. Det viser at energikostnaden knyttet til elektrisk oppvarming er rimeligere enn den til vedfyring.

5. Diskusjon

5.1. Oppvarming

Vedovn-, solfanger- og elkolbebidrag er, for en aktiv bruker av vedovnen, beregnet til henholdsvis 15 000, 2 900 og 200 kWh per år ved bruk av modellen. Bidragene går mot et varmebehov på totalt 18 100 kWh per år, inkludert tap fra varmelager. Modellen, BOVEDSOL, er laget i modelleringsverktøyet EnergyPRO. En sammenlignbar systemløsning for oppvarming av eneboliger, laget ved hjelp av verktøyet TRNSYS, viser et pellet-, solfanger- og elbidrag beregnet til henholdsvis 13 400, 2 470 og 296 kWh per år. Dette bidraget går mot et varmebehov på omtrent 16 000 kWh per år, inkludert tap fra varmelager (Persson, T., 2006). Ikke bare er fordelingen på energibærerne nesten identiske, men også flere av forutsetningene er av samme natur. Det som hovedsaklig skiller studiene er at flere av parameterene i Perssons beregninger er basert på målte verdier av faktisk teknologi og anlegg på laboratorium. TRNSYS er et mer sofistikert verktøy for simulering av varmesystemer i bygg, og innehar muligheter for oppbygging av aktuell konstruksjon med inndeling i soner. Kontroll av nøkkelparametere i et modellert varmesystem er og en applikasjon modelleringsverktøyet tilbyr. For Perssons studie betyr det at modellerte verdier kan kontrolleres opp imot målte for de respektive komponenter.

Persson har latt strålingsvarmen fra pelletsjkel være et bidrag til å dekke varmebehovet. Varmetap fra det termiske lageret er også regnet som et positivt bidrag, noe BOVEDSOL ikke tar høyde for. Undertegnede støtter videre argumentene gitt av Persson om at bidraget fra strålingsvarme fra vedovn og varmetap fra termisk lager begge bidrar til å dekke varmebehovet, og dermed også redusere elforbruk til oppvarming. Dette bidraget forutsetter at varmen fra ovn og lager distribueres effektivt i hele bygget. For BOVEDSOL er dette en forutsetning gjort bare for nytteeffekt til rom fra vedovn, hvor det ble regnet som oppnåelig og distribuere varmebidraget. For varmetap fra lager ser undertegnede derimot utfordringer knyttet til distribusjon, og støtter heller argumentasjon om at varmetap fra termisk lager er et positivt varmebidrag internt i konstruksjonen ved kald årstid (fyringssesong), som vil bidra mot teknisk roms nærliggende bygningsdeler (Bye, 2014). I den varme årstiden (utenfor fyringssesong) vil varmetap fra termisk lager kunne være et negativt, uønsket bidrag til bygget som vil kunne redusere komforten (Persson, T., 2006)

Likhetene til Perssons studie kan henge sammen med at pelletteknologien er automatisert, slik at varmeuttak fra lageret raskt suppleres med varmetilskudd. I scenarioet med aktiv bruker i modellen kan brukeren nærmest oppfattes som automatisert. Her skjer innmating av biomasse for egen maskin, men aktiv bruker er til gjengjeld tilgjengelig svært mange timer hver dag, uavhengig av helligdager og ferier – en uvanlig aktiv bruker. På den andre siden er passiv bruker i BOVEDSOL kanskje i overkant passiv ovenfor vedovnen, og reduksjon i elforbruk til oppvarming er deretter.

Soltilskuddet i BOVEDSOL er på 2 900 kWh per år, som er omtrent 320 kWh per kvadratmeter solfanger i året. Et godt dimensjonert solfangersystem vil for norske boliger kunne produsere 300 – 700 kWh per kvadratmeter solfanger i året (Andresen, I., 2008). Eneboliger av lavere varmeteknisk standard vil kunne utnytte flere kWh fra sola (Enova, 2011). Resultatene fra BOVEDSOL stemmer med kunnskapsreferanser hva gjelder soltilskudd, men følgende momenter er verdt å trekke frem, både for og imot høyere utnyttelsesgrad.

Som nevnt tidligere er varmetap fra termisk lager å regne som reelle tap i varm årstid, da disse tapene ikke er anvendbare, og kan videre føre til nedsatt komfort grunnet overoppheting. Det gir grunnlag til å vurdere om mye av soltilskuddet går til å oppveie dette tapet. Et slikt scenario vil ikke nødvendigvis undergrave solfangerenes funksjon, da en kan si at dette tapet måtte blitt oppveid uansett, og da av elkolben ved $T_{\text{midt}} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Solvarme er tross alt å regne som gratis når investering er gjort.

Om solvarmetilskuddet skal bli særlig høyere er bruker avhengig av et høyt forbruk av varme i de varme, solrike månedene. Av figur 2.7. side 15 kommer det frem at oppvarming av basseng er et alternativ til en slik utnyttelse av varme. Det er gode tilbakemeldinger fra eiere av enebolig med basseng. Slik har utnyttelsesgrad av solvarmetilskudd gått betydelig opp, og komforten (luksusen) med den (Bye, 2014). Et annet mål for å oppnå høyere grad av solvarmeutnyttelse er å investere i hvitevarer, vaske- og oppvaskmaskin, med varmeveksler. Slike investeringer vil kunne redusere spesifikt elektrisitetsforbruk med rundt 600 kWh i året og bidra til høyere solvarmeutnyttelse (Persson, T., 2006).

Av figur 4.3. på side 34 kommer det frem at solfangerene produserer varme i alle årets måneder for en enebolig på Ås. Det er svært lite produksjon i vintermånedene (nov. – feb.). I

Norge står sola lavt og dagene er korte i disse månedene, så resultatet er ikke overraskende. Referanseåret for solinnstråling på Ås, 2013, er blitt vurdert opp imot gjennomsnittlige verdier for siste femten år, og kontrollen viser ingen store avvik for vintermånedene (Thue-Hansen, V., Grimenes, A. A., 2014). For å få høyere solvarmeproduksjon disse månedene kan det vurderes å tilte solfangerene slik at absorbatoren står vinklet mer normalt mot sola. Dette vil igjen gi en mindre optimal vinkel sommerstid.

I figur 4.3. vises det også at solvarmeproduksjonen for vår og høst er ganske betraktelig, faktisk like stort som i sommermånedene. Av figur 3.4. på side 27 kan en observere at dette ikke er fordi solinnstrålingen er like høy vår/høst som sommer. Det er heller fordi varmebehovet (figur 3.3. side 22) er betydelig høyere vår og høst enn om sommeren, og dermed er utnyttelsesgraden av tilgjengelig solvarme større. Dette insinuerer at det er solvinkel for vår- og høstmånedene som bør være dimensjonerende parameter for maksimal solvarmeutnyttelse.

Reduksjonen i elforbruk til oppvarming må i BOVEDSOL kunne sies å være formidabel, med kun 200 kWh per år for aktiv bruker. Det er kun en – 1 – prosent av det årlige varmebehovet på 18 100 kWh. Fra figur 4.2. på side 33 kommer det frem hvordan samspillet sol/ved fungerer i fyringssesongen. Vedovn og solfangerer er begge pådrivere for reduksjon av elforbruk. Av figuren kan det også trekkes ut at solfangerene i hovedsak bidrar til sparing av innfyrt ved i fyringssesongen.

Resultater fra energi- og økonomiberegninger ved oppvarming av en tenkt enebolig på Ås antyder en formidabel nøyaktighet i modellen. Videre antyder dette at modellen vil kunne være overførbart til andre, reelle boliger for liknende beregninger.

5.2. Lønnsomhet

Nåverdiberegningene viser at det er brukere med lav energipris på ved som har høyest lønnsomhet. Det er fordi energiprisen for ved er meget lavere enn alternativkostnaden for elektrisk oppvarming, og kostnadsreduksjonen blir dermed stor. Ved nedsatt investeringskostnad blir lønnsomheten enda høyere, både for aktiv og passiv bruker. Dette kan gi incentiver til å søke etter produsenter og leverandører som kan gi rimelige og gode løsninger. Scenarioene med egenprodusert ved er de eneste som gir en tilbakebetalingstid over varmeanleggets levetid, som i seg selv er et meget salgbart argument.

For de to scenarioene med markedspris for ved kommer det av resultatene at passive brukere har bedre lønnsomhet enn aktive. Ingen av brukerne opplever noen inntjeningstid. Det kan tolkes som at det er manglende insentiver for bruk av anlegget selv etter investering, et argument som støttes opp av at oppvarmingssystemer basert på direkte elektrisitet er mest lønnsomme, om man legger dagens strømpriser til grunn (Andresen, I. et al., 2010). Scenarioene med høy elpris viser bedre lønnsomhet, men estimert levetid er ikke nok for full inntjening. I alt kan dette vurderes som et lite salgbart resultat for oppvarmingssystemet dersom bruker ikke har forutsetninger for anskaffelse av rimelig ved.

Av nåverdiberegningene vises det ikke positive verdier før inesteringskostnaden er lav eller elprisen er høy, eller begge deler. Negative nåverdier kan henge sammen med at kalkulasjonsrenten er satt for høy. Ved en kontroll kommer det at nåverdiene for aktiv bruker med rimelig ved i «normal-scenarioet» blir positiv med kalkulasjonsrente satt til 4 %. Det indikerer at nåverdiberegningen er følsomme for rentesatsen.

6. Konklusjon

Ved å anvende EnergyPRO til modellering av kombinert ved- og solvarmesystem for en tenkt enebolig på Ås viser resultatene til hvordan disse to energikildene utfyller hverandre over året. Samspillet dem to imellom er svært godt. I kalde måneder vil vedovnen stå for hoveddelen av varmetilførsel, godt supplert av solfangerene om solforholdene tillater det. I de varme månedene, utenfor fyringssesongen, dekkes varmebehovet i stor grad av solfangerene. Under vises det til konkluderende resultater som samsvarer med hypotese I-IV.

Reduksjon i bruk av elektrisitet til oppvarming er redusert med hele 99 prosent, ifra 18 100 kWh per år til 200 kWh per år. Behovet for elektrisitet til oppvarming er svært lav.

Reduksjonen i elforbruk er sterkt avhengig av hvor aktiv bruken av vedovnen er. En svært aktiv bruker vil oppnå en reduksjon på 99 prosent, som nevnt over. En mer passiv bruker av vedovnen vil oppleve en mindre reduksjon.

Utenfor fyringssesongen dekker solvarmeproduksjonen en stor andel av varmebehovet. Av totalt 1 700 kWh varmebehov dekker solvarmen 1 500 kWh. Det tilsvarer 88 prosent.

Langsiktig lønnsomhet i varmeanlegget er sterkt avhengig av vedpris. Med markedspris på ved vil ikke den langsiktige lønnsomheten til anlegget være god før det legges svært høye elpriser eller meget lave investeringskostnader til grunn. En eier av et anlegg som kan skaffe rimelig ved på egenhånd, til kostpris, vil oppleve meget god lønnsomhet. Dette må sies å være den primære målgruppen for sol-/vedbasert oppvarmingssystemer i privatøkonomisk øyemed.

7. Kilder

Andresen, I. (2008) – *Planlegging av solvarmeanlegg for lavenergiboliger og passivhus – En introduksjon*. Prosjektrapport 22/2008. Sintef Byggforsk.

Andresen, I., Buvik, K., Grini, C., Sjøstrand, K., Thyholt, M., Wigenstad, T. (2010) – *Miljøvennlig varmforsyning til lavenergi- og passivhus. En casestudie*. Prosjektrapport 59/2010. Sintef Byggforsk.

Belbo, H., Gjølshj, S. (2008) – *Trevirke – Brennverdier og energitetthet*. Viten fra Skog og Landskap 01/08. Norsk Institutt for Skog og Landskap.

Boye, K., Koekebakker, S. (2011) – *Finansielle emner*. Høgskolen i Agder. J. W. Cappelens Forlag, ss. 90-99.

Bye (2014) – Informasjon tilegnet gjennom samtaler og samarbeid med produktansvarlig ved Ole Christian Bye AS, Roy Eng, i perioden mars-juni 2014.

Dokka, T.H., Grini, C. (2013) – *Etterprøving av bygningers energibruk*. Metodikk. 6/2013. Sintef Byggforsk.

eKlima (2014) – www.eklima.no. Meteorologisk Institutt. Utetemperaturer for Ås og Gullholmen 2013 er hentet fra historiske observasjoner ved registrering.

Ellehauge, K., Sæby, A. (2000) – *Kombinerede solvarme- og biobrændselanlæg. Analyser og forslag til design*. J.nr. 51181/97-0062. Energistyrelsen, 2000.

EMD International (2013) – *EnergyPRO – Users guide*. EMD International 2013.

Enova (2011) – *Mulighetsstudie. Solenergi i Norge*. KanEnergi og Sintef Byggforsk.

Fiedler, F., Bales, C., Thür, A., Furbo, S. (2005) – *The actual status of the development of a Danish/Swedish system concept of a solar combisystem*. Solar Energy Research Center SERC, Dalarna University College. Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark.

Hafslund Nett (2014) – hafslundnett.no → *Historiske priser*. Hentet fra http://www.hafslundnett.no/nett/artikler/les_artikkel.asp?artikkelid=1

KVT (2013) – *Resource mapping of solar energy. An overview of available data in Norway.*

KVT/OB/2013/R046. Kjeller Vindteknikk, 2013.

Klimakur 2020 (2010) – *Tiltak og virkemidler for å nå norske klimamål mot 2020.* TA 2590/2010. Klimakur 2020, 2010.

Larsson, T. (2000) – *Enkätundersökning om energibesparning och drift med solfångare.*

Institutionen för teknik, Örebro Universitet, 2000.

NordPoolSpot (2014) – *www.nordpoolspot.com. Market data.* Hentet fra

<http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Downloads/Historical-Data-Download1/Data-Download-Page/>

Norsk Ved (2014) – *www.norskved.no. Fakta om ved.* Norsk Ved 2014.

Norsk Ved (2012) – *Fagblad for vedbransjen. Markedsundersøkelsen 2012.* Nr. 3 2012. Fått tilsendt ved kontakt med Norsk Ved via e-mail.

NVE (2012) – *Energibruksrapporten 2012 – Energibruk i husholdninger.* Rapport nr 30/2012. Norges vassdrags- og energidirektorat, 2012.

Persson, T. et al. (2006) – *Combined solar and pellet heating system for single-family houses. How to achieve decreased electricity usage, increased system efficiency and increased solar gains.* Report No. 06/56. Department of Energy and Environmental Technology. KTH - Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden.

Statkraft Varme (2013) – *Fjernvarmeprofil Trondheim 2012.* Tilgjengelig gjennom Senior Technology Analyst i Statkraft Development AS, Monica Havskjold.

Stene, J. (2008) – *Oppvarmingssystemer for boliger av lavenergi- og passivhusstandard.* TR A6579. Sintef Energiforskning, 2008.

Thue-Hansen, V., Grimenes, A. A. (2014) – *Meteorologiske data for Ås 1986 til 2013,* Norges Miljø og Biovitenskapelige Universitet.

Vedlegg

Vedlegg I - Produktdokumentasjon av TermoRosella Plus med varmeveksler.



Vedlegg I til produktdokumentasjon SINTEF 110-0317 av 2009-04-24.

Produkt: TermoRosella Plus med varmeveksler

Produkteskrivelse:

Frittstående, lukket og rentbrennende ovn med varmeveksler, hvor det sirkulerer vann til sentralvarmeanlegg. Høyde 910 mm, bredde 560 mm, dybde 540 mm. Vekt 150 kg. Ildsted på fire korte ben, med omramming av glasserte kakler. Brennkammer med rist og askeskuff. Enfløyett, plan dør med stort panoramavindu av keramikkglass. Ovnene kan ha direkte lufttilførsel utenfra via en tilførselskanal. Dørhåndtak må befestes med varmebeskyttende hanske. Røktuttak i topp eller bak, med røkrørsdiameter 130 mm.

Anvendelse:

For fyring med ved, anbefalt vedlengde ca 30 cm.
Kan oppmonteres i hjørne med vegger av brennbart materiale, med minste avstand på 200 mm til både sidevegg og bakvegg.
Avstand til brannmur skal minimum være 100 mm til sidevegg og 50 mm til bakvegg.
Regulering for lufttilførsel må være fjernet, slik at ovnen får maksimal lufttilførsel.
For øvrige detaljer vedrørende installasjon og bruk av ildstedet, refereres det til monteringsveiledningen.
Tilfredsstiller krav til partikkelutslipp i henhold til NS 3059, 1. utg. 1994.
CO-konsentrasjon ved 13 % O₂: 0,33 %. Virkningsgrad: 81,4 % ved 14,5 kW nominell effekt.

Grunnlag rapport:

Prøvningsrapport 102042.52 (miljø og sikkerhet), datert 2008-09-16 fra SINTEF NBL as, i henhold til NS 3058-1 /2, 1. utg. 1994 og NS-EN 13240.
Prøvningsrapport CS-06-160 (sikkerhet), datert 2007-02-12 fra IMQ Primacontrol, i henhold til NS-EN 13240:2001/A2:2004/AC:2006.

Grunnlag tegning:

Tegning nr. 1117260 datert 2006-07-05 fra La Nordica.

Gyldighetstid:

Vedleggets gyldighet er entydig knyttet til dokumentets første side med de krav, forutsetninger og tidsangivelser som der er presentert.

Ustedt: 2009-04-24.

Sven Baade
Avd.sjef

Jan P. Stensaas
Forsker



PRODUKTDOKUMENTASJON

SINTEF 110-0317

Med henvisning til Plan- og bygningsloven revidert 1997-06-13 med Teknisk forskrift, sist endret 26 januar 2007 og tilhørende Veiledning av 1997-01-22, rev. mars 2007, bekrefter SINTEF NBL as, med grunnlag i prøvningsrapporter og vurderinger, at angitt produkt inneholder norske myndigheters krav til brannteknisk sikkerhet og begrenset luftforurensning.

Ildsteder: TermoRosella Plus og Termonicoletta med varmeveksler

Produktautansvarlig: Ole Chr. Bye as
Jernbanegata 3-5, 1890 Rakkestad, NORGE.

Produktdokumentasjonens gyldighet er betinget av at produktet er i overensstemmelse med spesifikasjonene i vedlegg, at det blir montert og behandlet på en forsikringsmessig måte og at alle viktige detaljer i denne prosessen nøyaktig følger det som er beskrevet i tilhørende monterings- og bruksanvisning som er kontrollert, akseptert, stemplet og signert av SINTEF NBL. Både anvisning og produktdokumentasjon skal følge produkt eller være lett tilgjengelig for kjøper, bruker, kontrollør og lokal saksbehandler/myndighet.

Produktet skal merkes med SINTEF 110-0317, i tillegg til produktnavn og modellbetegnelse, produktansvarlig og/eller produsent og produksjonsinformasjon for sporbarhet.
Merkningen skal være lett synlig.

Produktet skal ha en årlig, ekstern oppfølging av kvaliteten gjennom en tilvirkningskontroll, som er tilpasset produktet. Kontrollen skal overvåke produktens samsvar med dokumentunderlaget og være spesifisert i skriftlig avtale med SINTEF NBL.

Førstegangs utstedelse 2009-04-24. Fornyelse utstedes på grunnlag av skriftlig søknad. Oppsigelse ved innhaver skal være skriftlig med 6 mnd. varsel. SINTEF NBL kan tilbakekalle en produktdokumentasjon ved misligheter eller misbruk, når skriftlig pålegg om endring ikke blir tatt til følge.

Ustedt: 2009-04-24.
Gyldig til: 2014-04-24.

Sven Baade
Avd.sjef

Jan P. Stensaas
Forsker

Technical data		Flat collector CPK 7210N
Butto. surface	(m ²)	2,11
Insolation surface	(m ²)	2,0
Absorber surface	(m ²)	1,9
Absorber material	Coated copper sheet	
Absorption coefficient	(%)	95 ± 2
Emission coefficient	(%)	5 ± 3
Optical efficiency rate	(%)	81,8
Heat loss rate k ₁	W/(m ² K)	3,29
Heat loss rate k ₂	W/(m ² K ²)	0,0134
Pipe register	(mm)	ø8 x 0,5
Collecting pipes	(mm)	ø22 x 0,8
Absorber content	(l)	1,4
Transparent coating	4 mm tempered solar glass	
Light transmission in the glass	(%)	90,8 ± 2
Energy transmission trough glass	(%)	90 ± 2
Number of connections		2
Dimension of connections	(R)	1"
Max. operating pressure	(bar)	10
Stagnation temperature	(°C)	180
Insulation	Stone wool	
Height of the collector	(mm)	2036
Width of the collector	(mm)	1035
Collector thickness	(mm)	98
Collector mass	(kg)	39
System liquid	Glycole -water mixture	

Vedlegg III - Størrelsesordener for akkumuleringstank, CAS 801 BS (Bye, 2014).

Tip		CAS								CAS-S			CAS-BS		
		501	801	1001	1501	2001	3001	4001	5001	501	801	1001	501	801	1001
Capacity	(lit.)	475	740	940	1450	2160	2960	3820	5055	475	740	940	475	740	940
Tank body diameter D	(mm)	650	790	790	1000	1200	1250	1400	1600	650	790	790	650	790	790
Outer diameter E	(mm)	850	990	990	1200	1400	1450	1600	1800	850	990	990	850	990	990
Total height C	(mm)	1670	1750	2150	2100	2180	2695	2790	2875	1670	1750	2150	1670	1750	2150
Connections	(R)	6/4"	6/4"	6/4"	6/4"	6/4"	2"	2"	2 1/2"	6/4"	6/4"	6/4"	6/4"	6/4"	6/4"
Max. operat. pressure	(bar)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Max. operat. temp.	("C)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Min. height of the room	(mm)	1870	1950	2350	2300	2335	2915	3015	3005	1870	1950	2350	1870	1950	2350
Mass of tank body	(kg)	75	99	149	185	245				100	135	185	120	175	225
Mass of tank with insulat.	(kg)	84	112	164	204	265				109	150	201	129	190	241
DHW cylinder content	(lit.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	125	170	170
Max. operat. press. DHW t	(bar)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	6	6
Connections DHW tank	(R)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3/4"	3/4"	3/4"
Tube exch. heat. surface	(m ²)	-	-	-	-	-	-	-	-	1,9	2,6	3,2	1,9	2,6	3,2
Tube exchanger content	(lit.)	-	-	-	-	-	-	-	-	10,5	14	17,5	10,5	14	17,5
Thermal insulation	(mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Height A	(mm)	230	320	320	320	355	370	420	515	230	320	320	230	320	320
Height B	(mm)	1380	1370	1770	1720	1755	2260	2310	2365	1380	1370	1770	1380	1370	1770

Vedlegg IV - Tilbud 1 på varmeanlegg fra Ole Christian Bye AS.



Kundnr: 101774
Eiendomsservice Øst A/S
Nesvegen 32

2080 EIDSVOLL

RAKKESTAD,

Tilbudsnr: 1706
Tilbudsdato: 11.01.12

Tilbud Furnes - Nr: 1706

Artnr	Artikkel	Pris	Antall	Sum
395380	Vedovn Termosella Pluss Petra DSA	22 320,00	1,00	22320
369110	Kjøleventil, sentralvarme	1 375,00	1,00	1375
335950	Termostat Laddomat 30-90°C	592,00	1,00	592
391990	Akkumulatortank CAS BS 501, soltank + 2" tilkobling for kolbe	18 590,00	1,00	18590
336220	Elkolbe 6kw	3 390,00	1,00	3390
480460	Styreskap for vedovn og solenergi med 7 kurser for gulvvarme	61 000,00	1,00	67000
383030	Ekspansjonstank 50 liter	935,00	1,00	935
383040	Oppheng for ekspansjonskar, m. manometer og sikkerhetsventil	1 304,00	1,00	1304
392000	Solkollektor CPK 7210N, Centrometal	7 150,00	4,00	24800
432120	Rør flexibelt Twinvay split DN 20-R3/4"	555,00	14,00	7770
432160	Endestykke/Tippunion Twinvay R-3/4" utv gjenge	135,00	18,00	2430
395940	Lufteløkke, SOL	330,00	2,00	660
432260	Tyfocon L 10 liter konsentrat for solvarme	1 145,00	2,00	2290
31000	Montering/rørlegger	34 000,00	1,00	34 000
31000	Gulvvarme i VF, entre, bad i 1 og 2 etg	270,00	20,00	5 400
31000	Gulvvarme i tregulver i 1 etg	370,00	58,50	21 645
SUM				214 501.-

Priser er uten mva og frakt.

Vedlegg V - Tilbud 2 på varmeanlegg fra Ole Christian Bye AS.

Ole Chr Bye AS
Bedriftsveien 5

Telefon 69 22 53 00
Telefaks 69 22 23 35
E-post bve@bve.no
Org. nr 810 926 252
Lev.dato 02.04.14
Vår ref Roy Eng
Deres ref

Tilbudsnr **2970**
Tilbudsdato **02.04.14**

Side: 1

1890 RAKKESTAD

Andreas Grimsland
Alnagata 11

Leveringsadresse:
Andreas Grimsland
Alnagata 11

0192 OSLO

0192 OSLO

Kundenr 102140

Tilbudsbekreftelse

Artikkelnr	Artikkelnavn	Enhet	Enh.pris	Rab. I	Rab. III	Antall	Nettopris
395380	Vedovn Termorosella Pluss Petra DSA	stk	19 500,00	0,00	0,00	1,00	19 500,00
383030	Ekspansjonstank 50 liter	stk	935,00	0,00	0,00	1,00	935,00
383040	Oppheng for ekspansjonskar, m. manometer og	stk	1 304,00	0,00	0,00	1,00	1 304,00
369110	Kjøleventil, sentralvarme	stk	1 375,00	0,00	0,00	1,00	1 375,00
335950	Termostat Laddomat 30-90°C	stk	592,00	0,00	0,00	1,00	592,00
391990	Akkumulatortank CAS BS 501, soltank + 2" tilko	stk	17 000,00	0,00	0,00	1,00	17 000,00
336220	Elkolbe 6kW komplett med koblingsboks	stk	3 364,00	0,00	0,00	1,00	3 364,00
480460	Styreskap for vedovn og solenergi med 7 kurser		68 000,00	0,00	0,00	1,00	68 000,00
392000	Solkollektor CPK 7210N, Centrometal	stk	6 200,00	0,00	0,00	4,00	24 800,00
395940	Luftekløkke, SOL	stk	330,00	0,00	0,00	2,00	660,00

Vedlegg VI - Tilbud 3 på varmeanlegg fra Ole Christian Bye AS.

Ole Chr Bye AS
Bedriftsveien 5

Telefon 69 22 53 00
Telefaks 69 22 23 35
E-post bye@bye.no
Org. nr 810 926 252
Lev. dato 02.04.14
Vår ref Roy Eng
Deres ref

Tilbudsnr 2971
Tilbudsdato 02.04.14

Side: 1

1890 RAKKESTAD

Andreas Grimsland
Alnagata 11

Leveringsadresse:
Andreas Grimsland
Alnagata 11

0192 OSLO

0192 OSLO

Kundenr 102140

Tilbudsbekreftelse

Artikkelnr	Artikkelnavn	Enhet	Enh.pris	Rab. I	Rab. III	Antall	Nettopris
395380	Vedovn Termorosella Pluss Petra DSA	stk	19 500,00	0,00	0,00	1,00	19 500,00
369110	Kjøleventil, sentralvarme	stk	1 375,00	0,00	0,00	1,00	1 375,00
335950	Termostat Laddomat 30-90°C	stk	592,00	0,00	0,00	1,00	592,00
383030	Ekspansjonstank 50 liter	stk	935,00	0,00	0,00	1,00	935,00
383040	Oppheng for ekspansjonskar, m. manometer og	stk	1 304,00	0,00	0,00	1,00	1 304,00
484490	Sentral for vannmantlet vedovn.		13 200,00	0,00	0,00	1,00	13 200,00
392000	Solkollektor CPK 7210N, Centrometal	stk	6 200,00	0,00	0,00	4,00	24 800,00
393060	Drivenhet sol, Centrometal	sett	8 789,00	0,00	0,00	1,00	8 789,00
395940	Lufteklokke, SOL	stk	330,00	0,00	0,00	1,00	330,00
480430	Ekspansjonstank 24 liter, SOL	stk	900,00	0,00	0,00	1,00	900,00
336220	Elkolbe 6kW komplett med koblingsboks	stk	3 364,00	0,00	0,00	1,00	3 364,00



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no