

Analyse av optimal utvikling av fjernvarme med bakgrunn i nye krav til miljøutslipp og forbruk av primærenergi

Magnus Bakken

Master i energi og miljø
Oppgaven levert: Juni 2009
Hovedveileder: Rolf Ulseth, EPT

Oppgavetekst

Analyse av optimal utvikling av fjernvarme med bakgrunn i nye krav til miljøutslipp og forbruk av primærenergi

Bakgrunn

Både i Norge og internasjonalt er nå primærenergiforbruk og utslipp av CO₂ blitt de viktigste indikatorene for å måle energiytelsen for bygninger. Samtidig er det betydelig økt innsats for å redusere behovet for levert energi til bygningene. Dette betyr at innsatsen for å redusere netto energibehov i bygningene også er økt. Kravet om redusert primærenergiforbruk og redusert CO₂-utslipp favoriserer utbygging av fjernvarme mens reduksjon av netto energibehov og levert energi er økonomisk ugunstig med tanke på utbygging av fjernvarme.

Mål

Hovedmålet for denne oppgaven er å klarlegge den resulterende virkning av de motstridende faktorer som vil virke befordrende og hemmende på utbygging av fjernvarme i fremtiden.

Opgaven bearbeides ut fra følgende punkter

1. Redegjør oversiktsmessig for de internasjonale og nasjonal pådrivere og krav som må forventes å påvirke utviklingen mht energibruken og energiforsyningen for bygninger
2. Klarlegg utviklingen mht teoretisk netto energibehov for bygninger i den senere tid og sannsynlig utvikling i tiden fremover mot 2020. Estimer også utviklingen mht faktisk energibehov for bygninger i tiden fremover.
3. Klarlegg de faktiske forhold mht forbruk av primærenergi og CO₂-utslipp ved de mest aktuelle former for varmegenerering av fjernvarme med fornybare energikilder
4. Klarlegg de teoretiske mulighetene for utnyttning av fornybar energi ved utbygging av fjernvarme i Norge i tiden fremover. Estimer også de faktiske mulighetene ut fra de faktorene som virker for eller imot de teoretiske muligheter.
5. Klarlegg de økonomiske konsekvensene ved utbygging av fjernvarme for et gitt område med dagens behov for levert varme i forhold til en antatt, virkelig situasjon for samme område i 2020 ved beregninger for et gitt eksempel.

Opgaven gitt: 03. februar 2009
Hovedveileder: Rolf Ulseth, EPT

Sammendrag

Denne oppgaven analyserer utviklingen av fornybar fjernvarme i Norge frem mot 2020 med bakgrunn i nye krav og føringer for energiløsninger. Fornybar fjernvarme er i denne oppgaven definert som fjernvarme basert på forbrenning av avfall og biobrensler.

Oppgaven innledes med en oversikt over pådrivere og krav som påvirker energibruk og energiforsyning for bygninger i Norge. Videre følger netto energibruk for bygninger i Norge i tiden fremover beregnet ut i fra dagens krav og antatte krav i 2020. Forhold angående bruk av primærenergi samt CO₂ utslipp i forbindelse fornybar fjernvarme er klarlagt. Det er videre gjort estimater for teoretisk potensial og antatt faktisk potensial for fornybar fjernvarme i Norge. Siste del omhandler økonomiske konsekvenser for et gitt området med fornybar fjernvarme der dagens behov for levert varme er sett i forhold til levert varme i 2020.

For at fornybar fjernvarme i tiden fremover skal få et solid grunnlag for utvikling i Norge, er det nødvendig med politiske føringer som gjør dette lønnsomt både for sluttbruker og produsent. Av pådrivere vil regjeringen, fagdepartementene og Stortinget som lovgivende myndighet være de viktigste.

Beregninger gjort ved bruk av en antatt forskrift for 2020, "TEK20", viser en nedgang i netto energibehov på 9 % for kontorbygg og en nedgang på 18 % for småhus i forhold til TEK07. Nedgangen i oppvarmingsbehovet er henholdsvis 45 % og 9 % sammenlignet med TEK07.

Forhold som har betydning for primærenergiforbruk ved bruk av fornybar fjernvarme er i hovedsak virkningsgraden for fjernvarmeanlegg og distribusjonssystem og faktorer knyttet til disse. I tillegg vil transportkanaler og innretninger hos sluttbruker ha betydning.

Det tekniske potensial for fornybar fjernvarme er estimert til omlag 38-41 TWh, hvor 35 TWh er biobrensel og 3-6 TWh er avfall. Det totale faktiske potensialet i 2020 er estimert til 1,7 TWh ut i fra prosjekter som ikke er lønnsomme uten offentlig støtte. Ved historisk estimering av fornybar fjernvarme, vil produsert energi i 2020 være omlag 8,2 TWh, hvor 4,5 TWh er produsert fra biobrensler og 3,7 TWh fra avfall.

I en analyse av Trehørningen forbrenningsanlegg er det beregnet en nedgang på 20,2 % i behovet for levert varme for et gitt område i 2020 i forhold til dagens behov.

Summary

This project is an analysis of the development of renewable district heating in Norway up to 2020 based on new requirements and guidelines for energy solutions. Renewable district heating is in this project defined as district heating based on combustion of municipal solid waste (MSW) and biofuel.

The project opens with an overview of incentives and requirements that affect energy consumption and energy supplies for buildings in Norway. Further, the net energy consumption of buildings in Norway in the future, calculated from the current requirements and estimated requirements in 2020. Conditions for the use of primary energy is explained as well as CO₂ emissions from renewable district. It is made estimates the theoretical potential and the actual potential for renewable district heating in Norway. The final section deals with the economic consequences for a given area with renewable district heating where the current demand for delivered heat is seen in relation to the heat delivered in 2020.

For renewable district heating to have a solid basis for development in Norway in the future it is necessary with political guidelines that make it profitable, both for end user and manufacturer. Of the initiators will the government and management from the central political hold be the most substantial.

Calculations made using an assumed Regulations for 2020, "TEK20" shows a decrease in net energy demand at 9 % for office buildings and a decline of 18 % for small houses in relation to TEK07. The decline in heating needs are respectively 45 % and 9 % compared to TEK07.

Conditions that is of significance for the primary energy consumption for renewable district heating is mainly the efficiency for the district heating plant and the distribution system, and factors related to these. In addition, the transport channels and appliance at the end user have an impact.

The technical potential for renewable district heating is estimated to be about 38-41 TWh of which 35 TWh is biofuel and 3-6 TWh is MSW. The total actual potential in 2020 is estimated to 1.7 TWh based on projects that are not profitable without government support. The historical estimation of renewable district heating yields an energy production of 8,2 TWh in 2020 of which 4.5 TWh is produced from biomass and 3.7 TWh from MSW.

Analysis of Trehørningen combustion facility yields an estimated decline in heating demand of 20.2 % by 2020. This is in relation to the current heating demand for the same area.

Innholdsfortegnelse

Definisjoner/Begreper	1
Innledning	2
1 Pådrivere og krav som vil påvirke energibruk og energiforsyning for bygninger i Norge	3
1.1 Regjering/Stat	3
1.2 NVE	4
1.3 Kommunene som lokale pådrivere	4
1.4 Bygningsdirektivet	5
1.5 Norske krav om energiytelse	7
1.6 Energimerking av boliger	10
2 Utvikling av energibehov for bygninger i Norge	12
2.1 Forandring i husholdningen	14
2.2 Isolasjon av boliger	14
2.3 Temperatur	14
2.2 Netto energibehov	17
2.3 Beregninger for netto energibehov	20
2.3.1 NS3031	21
2.3.2 Beregningsmetode	21
2.3.3 Resultater fra beregninger	27
3 Primærenergi og CO ₂ utslipp ved fornybar fjernvarme	29
3.1 Primærenergi	29
3.1.2 Primærenergifaktor (PEF)	31
3.2 Fornybar fjernvarme	32
3.2.1 Elektrisitet som energikilde	32
3.2.2 Biomasse som energikilde	32
3.2.3 Avfall som energikilde	34
3.3 Forhold som har betydning for primærenergifaktor for fjernvarme	35
3.3.1 Varmetap fra fjernvarmesystem	36
4 Muligheter for utnytting av fornybar fjernvarme i tiden fremover	39
4.1 Teoretisk potensial for fjernvarme i tiden fremover	39

4.1.1 Teknisk potensial for avfall som bruk av energikilde.....	39
4.1.2 Teknisk potensial for biomasse som bruk av energikilde.....	39
4.2 Faktiske muligheter.....	40
4.2.1 Bosetningsmønster.....	41
4.2.3 Kostnader for sluttbruker.....	42
4.3.4 Politiske føringer.....	44
4.3.5 Faktisk mulighet for fornybar fjernvarme.....	44
5 Økonomiske konsekvenser ved utbygging av fjernvarme mot 2020.....	46
5.1 Avfallsforbrenningsanlegget på Trehørningen.....	46
5.1.2 Avfallsgrunnlag.....	47
5.1.3 Brensel/Produksjon.....	48
5.1.4 Utslipp.....	51
5.2 Levert varmeenergi fra Trehørningen ved bruk av "TEK20".....	52
5.3 Økonomiske konsekvenser av "TEK20".....	53
6 Diskusjon.....	55
6.1 Utvikling av netto energibehov.....	55
6.2 Energimerket.....	55
6.2 Fornybar fjernvarme.....	55
6.3 Trehørningen.....	56
7 Konklusjon.....	57
8 Litteraturliste.....	59

Definisjoner/Begreper

BRA – Bruksareal

energiytelse - *”... den mengde energi som faktisk forbrukes eller beregnes forbrukt for å dekke de ulike behov knyttet til en standardisert bruk av bygningen..”*[10]

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development

Disponibel realinntekt - inntektens kjøpekraft etter at skatter og prisstigning er trukket fra.

Eksergi - andel av energi som kan konverteres til mekanisk energi (arbeid) [23]

Klimagasser - er atmosfæriske gasser som slipper gjennom stråling fra sola, men fanger opp varmestråling ut fra jorda, [28]

Livsløpsanalyse - Livsløpsanalyse kartlegger alle trinn i produktets livsløp, og enten kvalitativt eller kvantitativt definere miljøkonsekvensene av disse.

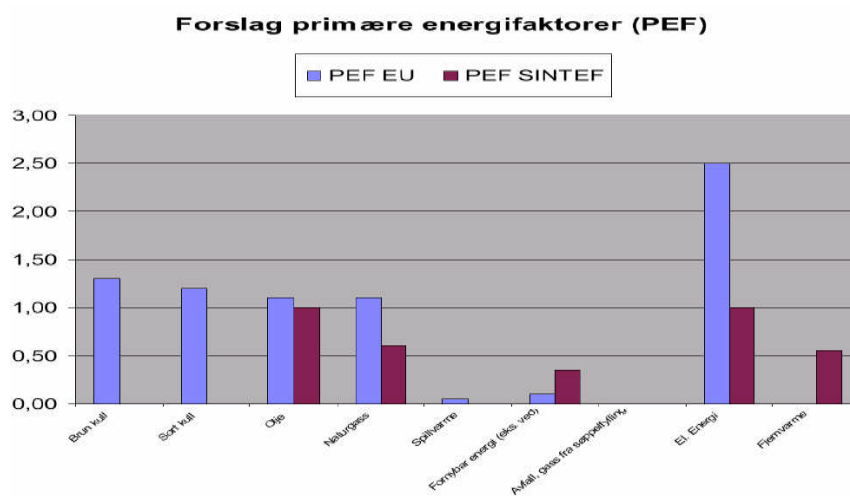
u-verdi - u-verdien ($W/m^2 \text{ } ^\circ K$) for en bygningsdel angir hvor god varmeisolasjonsevnen er, og lav u-verdi gir god varmeisolasjon.

Netto energibehov - bygningens energibehov uten hensyn til energisystemets virkningsgrad eller tap i energikjeden [20]

Innledning

For å begrense forbruket av høyverdig elektrisitet til oppvarming er det mulig å gå tilbake til oppvarmingssystemer som var mer vanlig før Norge bygget ut store vannkraftverk, nemlig fjernvarme. I 1958 var vannbåren varme installert i 22 % av alle ny boligbygg, mens andelen var 1 % i 1995. Energikildene på 1950-tallet var stort sett oljeprodukter, men i dag vil fornybare kilder og varmepumper kunne benyttes i stedet. Regjeringens mål er at det innen 2010 skal brukes 4 TWh mer vannbåren varme basert på fornybare energikilder, varmepumper og spillvarme (2,5 TWh i 2005). Det overordnede målet er å forsikre en effektiv energiforsyning til oppvarmingsformål og øke bruken av miljøvennlige og fornybare energikilder[1].

Klare mål for Norges energiotvikling mot 2020 er ikke satt. Selv om det er lagt generelle mål om energieffektivisering er det ikke lagt konkrete føringer på hvordan dette skal gjennomføres, særlig med tanke på bruk av fjernvarme. Både i Norge og internasjonalt er nå bruk av primærenergi og utslipp av CO₂ blitt viktige indikatorer for å måle energiytelse i bygninger. Dette betyr at innsatsen for å redusere netto energibehov også er økt. Krav om redusert primærenergi og redusert CO₂-utslipp favoriserer utbygging av fjernvarme mens reduksjon av netto energibehov og levert energi er økonomisk ugunstig med tanke på utbygging av fjernvarme.



Figur I.1: Forslag til primære energifaktorer, Sintef [49]

Det gjøres i denne oppgaven rede for ulike forhold som har betydning for fjernvarme som en del av den norske energiløsningen i tiden frem mot 2020.

1 Pådrivere og krav som vil påvirke energibruk og energiforsyning for bygninger i Norge

1.1 Regjering/Stat

Behandlingen av Stortingsmelding nr.29 (1998-99) la et solid politisk grunnlag for utbygging av fjernvarme i Norge. I tillegg til politisk tilrettelegging ved å fremheve fjernvarme i stortingsmeldingen er Statsforetaket Enova og deres støtteprogram *Program for fjernvarme nyetablering* et sterkt insentiv for energiprodusenter[2]. Denne støtteordningen gir støtte til aktører som ønsker og etablere ny infrastruktur og tilhørende fornybar energiproduksjon for fjernvarme. Denne støtte ordningen er primært aktuell for søkere fra energi- og avfallsbransjen.

Det er lagt til grunn følgende rangeringskriterier for søknader om støtte fra Enova:

- Høyt fornybart og totalt energiutbytte per støttekrone
- Høy leveringskapasitet per støttekrone
- Høyt fremtidig vekstpotensial utover angitt leveringsområde
- Lav samlet fjernvarmekostnad levert sluttbruker

Denne rangeringslisten viser at det er fornybar energiproduksjon og energiutbytte som står i fokus. Gjennom sine krav til bruk av fornybare ressurser, er Enova med sine støtteordninger en sterk pådriver for utbygging og utvikling av "fornybar" fjernvarme.

Det er verdt å merke seg at den detaljerte beskrivelsen av søknadskriteriene om støtte fra *Program for fjernvarme nyetablering* utelukker lønnsomme prosjekter. Prosjekter, som er bedriftsøkonomisk lønnsomme uten støtte, vil falle utenfor den aktuelle gruppen for søkere[2]. Dette betyr at energiprodusenter som vil bygge ut fjernvarme er styrt i retningen av å prosjektere fjernvarmesystemet uten bedriftsøkonomisk overskudd, noe som fører til at prisen til sluttbruker nødvendigvis blir rimeligere.

Enova har de siste 5 årene (siden 2004) gitt 965 millioner kroner i støtte til fjernvarmeutbygging. Dette har utløst investeringer i størrelsesorden 5,7 milliarder kroner. I om lag 120 byer og tettsteder i Norge er det i ferd med å bli etablert fjernvarmeanlegg. Enova har også satt av 400 millioner kroner til varmetiltak i forbindelse med regjeringens krisepakke[6].

1.2 NVE

NVE, Norges vassdrags- og energidirektorat, er underlagt Olje- og Energidepartementet og har ansvar for å forvalte vann- og energiresursene i landet. NVE har forvaltningsmessig ansvar for alle konsesjonspliktige kraftverk. Dette forvaltningsansvaret omfatter hele prosessen, fra meldinger og søknader til oppfølging i byggetiden og tilsyn etter idriftsettelsen. Under deres ansvarsområde ligger også ansvaret for konsesjonssøknadene for utbygging av fjernvarme.

Etter Energiloven (Lov om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m.) kreves det generelt konsesjon for fjernvarmeanlegg. I forskriftene er det satt en nedre grense for konsesjonsplikt for anlegg med en samlet effekt på mer enn 10 MW. Det er adgang til å søke konsesjon for mindre anlegg dersom det er ønskelig, med tanke på muligheter til tilknytningsplikt for aktuelle fjernvarmekunder etter plan- og bygningsloven[4,5].

Loven regulerer også blant annet prisen for leveranse av fjernvarme. Prisen for fjernvarme skal ikke overstige prisen for elektrisk oppvarming i vedkommende forsyningsområde. Dersom kunden er pålagt å koble seg til anlegget, gis det adgang til å klage til NVE over priser og andre leveringsvilkår.

I 2008 ga NVE ut 31 konsesjoner for utbygging av fjernvarmeanlegg i Norge som tilsvarer omlag 1TWh i varmeproduksjon[3]. Dette var et rekord år for innvilgning av fjernvarmekonsesjoner. På bakgrunn av disse vedtatte søknadene har NVE i tråd med Statsmelding nr.29 (1998-99) vært en sterk pådriver for utbygging av fjernvarme[3].

1.3 Kommunene som lokale pådrivere

Der det foreligger konsesjon for et fjernvarmeanlegg i henhold til Energiloven § 66a, kan kommunestyret i anleggets konsesjonsområde pålegge tilknytningsplikt i henhold til plan- og bygningsloven gjennom vedtekt. Bygninger som oppføres innenfor konsesjonsområdet må da tilknyttes fjernvarmeanlegget.

For at denne lovparagrafen skal virke etter forutsetningen, kreves et samarbeid mellom lokale politiske myndigheter og energiprodusentene. Sammen med kriteriet om null økonomisk bedriftsoverskudd ved støtte fra Enova, er tilknytningsplikten kommunene kan vedta et sterkt insentiv for fjernvarmeutbygging. Kommunene står også fritt til å legge andre kriterier til grunn i kommunevedtektene, hvis dette sees som nødvendig med hensyn på energieffektivitet. Eksempelvis har Trondheim kommune i samarbeid med Trondheim Energiverk AS (TEV) vedtatt at alle bygg med areal større enn 500 m² bruksareal er tilknytningspliktig hvis de er oppført innenfor konsesjonsområdet[5,7,8].

1.4 Bygningsdirektivet

Selv om Norge ikke er medlem av den Europeiske Union (EU) er Norge påvirket av krav som bestemmes i Rådet for den Europeiske Union i samarbeid med EU-parlamentet. Directive 2002-91EC, "Energy performance of buildings directive" (EPBD), er ett initiativ EU har tatt for å øke energieffektiviteten i bygningsmassen i Europa. Dette direktivet er kalt *Bygningsdirektivet* på norsk.

Bakgrunnen for direktivet er den økende energibruken i Europa, som vil gjøre EU enda mer avhengig av olje- og gassleveranser utenfra med mindre tiltak settes inn. Kyoto-protokollen forplikter også EU til å redusere utslipp av klimagasser ned til 8 % under mengder registrert i 1990, innen 2012. Bygningsdirektivet ble vedtatt som et virkemiddel i denne forbindelse.

Fordi energibruken i bygningsmassen står for hele 40 % av den totale energibruken i Europa, er det et stort sparepotensialet ved å energieffektivisere bygg. Direktivet som trådte i kraft 4. januar 2003 består av i alt 17 artikler.

Følgende punkter beskriver de fire hovedområdene i direktivet:

- Innføring av felles metode for beregning av energibruk i bygninger.
- Innføring av energisertifikat for nye bygg og bygg som omsettes og leies ut.
- Innføring av minstekrav for energiytelse for nye bygg og bygg som renoveres.
- Innføring av energiinspeksjoner av klimaanlegg og fyringsanlegg

I de nye forskriftene skilles det mellom nye og eksisterende bygg og bygg i ulike bygningskategorier. Det kreves at medlemstatene sikrer at det fremlegges en energiattest ved oppføring av nye bygninger, ved salg av bygninger og ved utleie, som har en gyldighet på maksimum 10 år. Offentlige bygninger over 1000 m² har fått krav om å ha et synlig energimerke for brukerne av bygget. Det skal også som et tiltak for å redusere energibruk gjøres energivurderinger av kjeler som bruker fossilt brensel over 20 kW og anlegg som er over 15 år gamle. Under den samme artikkelen pålegges det også å gjøre regelmessig kontroll av klimaanlegg over 12 kW. Det kreves at slike kontroller gjøres av uavhengig, kvalifisert personale[9,10].

Det som er det mest interessante i dette direktivet med hensyn til direktivet som en pådriver for fjernvarme, er at det ved oppføring av nye bygninger over 1000 m² skal vurderes alternative løsninger for energiforsyning. Dette åpner også døren for flere alternativer enn fjernvarme som energiforsyning, men det er et skritt i retning av et samfunn der elektrisitet brukes der det kun er nødvendig slik som foreksempel ved bruk av elektriske artikler.

I forbindelse med Bygningsdirektivet, (Directive 2002/91/EC) er det satt rammer for beregning av netto energibruk for alle land som berøres. Det vil si at beregningsmetodene som brukes av medlemslandene vil være ganske like med kun små forskjeller landene imellom. Landene står fritt til å sette egne minstekrav og tilføye nasjonale regler og restriksjoner. Forskjellen i minstekravene kommer tydelig frem av tabell 1.1. Mange forskjeller kan forklares ut fra

klimaforskjeller, men det finnes også klimalike land med ulike kravnivå. For eksempel nabolandene Sveits og Østerrike, hvor Sveits har ca. 40 % strengere kravnivå enn sitt naboland.

Land	Vegg		Tak		Gulv	
	Lav	Høy	Lav	Høy	Lav	Høy
Albania	0,53	0,53	0,38	0,38	0,59	0,59
Belgia	0,60	0,60	0,40	0,40	0,90	1,20
Bosnia	0,80	0,80	0,55	0,55	0,65	0,65
Bulgaria	0,50	0,50	0,30	0,30	0,50	0,50
Danmark	0,20	0,40	0,15	0,25	0,12	0,30
Estland	0,25	0,25	0,16	0,16	0,25	0,25
Finland	0,25	0,25	0,16	0,16	0,25	0,25
Frankrike ¹	0,36	0,40	0,20	0,25	0,27	0,36
Hellas	0,70	0,70	0,50	0,50	1,90	1,90
Irland	0,27	0,27	0,16	0,25	0,25	0,37
Italia	0,46	0,64	0,43	0,60	0,43	0,60
Latvia	0,25	0,40	0,20	0,20	0,25	0,25
Litauen	0,20	0,50	0,16	0,40	0,25	0,50
Makedonia	0,90	0,90	0,60	0,65	0,75	0,75
Nederland	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
Norge	0,18	0,22	0,13	0,18	0,15	0,18
Polen	0,30	0,50	0,30	0,30	0,60	0,60
Portugal	0,50	0,70	0,40	0,50	-	-
Romania	0,70	0,83	0,33	0,50	0,60	0,91
Serbia og Montenegro	0,90	0,90	0,65	0,65	0,75	0,75
Slovakia	0,32	0,46	0,20	0,30	0,25	0,35
Slovenia	0,15	0,60	0,15	0,25	0,25	0,45
Spania ¹	0,66	0,82	0,38	0,45	0,66	0,82
Storbritannia	0,25	0,35	0,13	0,20	0,20	0,25
Sveits	0,20	0,30	0,20	0,30	0,20	0,30
Sverige	0,18	0,18	0,13	0,13	0,15	0,15
Tsjekkia	0,30	0,38	0,24	0,30	0,30	0,45
Tyskland	0,30	0,30	0,20	0,20	0,40	0,40
Ungarn	0,45	0,45	0,25	0,25	0,50	0,50
Østerrike	0,35	0,50	0,20	0,25	0,35	0,40

Tabell 1.1: Utvalgte u-verdier i Europa per April 2007 [12]

1.5 Norske krav om energiytelse

Krav om energiytelse i bygninger i Norge er knyttet opp mot FOR 1997-01-22 nr 33: "Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk" (TEK) og Norsk Standard 3031 (NS3031).

Den gjeldende TEK forskriften, TEK07, er en revisjon av den opprinnelige TEK 97, der kravene til byggverk og produkter til byggverk er strammet inn med tanke på energiytelse av nye bygg. Forskriften om krav til byggverk og produkter til byggverk ble igangsatt med det overordnet mål om å gjennomføre EØS-avtalen med hensyn til direktiv 1978/170/EØF og direktiv 1992/42/EØF. De nye kravene til energiltak oppgitt i TEK07 er vist i tabell 1.2.

Energiltak	Krav	
Samlet glass- vindus- og dørareal	20%	Av bygningens bruksareal
U-verdi yttervegg	0,18	W/m ² K
U-verdi tak	0,13	W/m ² K
U-verdi gulv på grunn og mot det fri	0,15	W/m ² K
U-verdi glass/vinduer/dører	1,2	W/m ² K
Normalisert kuldebroverdi skal ikke overstige		
Småhus	0,03	W/m ²
Øvrige bygg	0,06	W/m ²
Lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell		
Småhus	2,5	Luftvekslinger per time
Øvrige bygg	1,5	Luftvekslinger per time
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad v.v.	70%	
Spesifikk vifteeffekt		
Næringsbygg (dag/natt)	2/1	kW/m ³ s
Bolig	2,5	kW/m ³ s
Kjøling	Unngå lokalkjøling	
Automatisk utvendig solavskjermingsutstyr eller andre tiltak for å oppfylle krav til termisk komfort		
Natt og helgesenking av innetemperatur til 19 °C for bygningstyper der det skilles mellom natt, dag og helgedrift. For idrettsbygg 17 °C.		

Tabell 1.2: Krav til energiltak [11]

§ 8-21 i forskriften TEK07 er lagt opp slik at man kan velge mellom å oppfylle angitte energiltak, som vist i tabell 1.3, eller ha et samlet netto energibehov som ligger under angitte rammekrav som vist i tabell 1.2.

Bygningskategori	Rammekrav kWh/m ² oppvarmet BRA år
Småhus	125 + 1600/oppvarmet BRA
Boligblokk	120
Barnehager	150
Kontorbygg	165
Skolebygg	135
Universitet/høyskole	180
Sykehus	325
Sykehjem	235
Hoteller	240
Idrettsbygg	185
Forretningsbygg	235
Kulturbygg	180
Lett industri, verksteder	185

Tabell 1.3: Rammekrav [11]

Det er mulig å fravike et eller flere av energiltakene, men da må kompensierende tiltak tilføres for at bygningens energibehov ikke skal øke. En kan eksempelvis øke årsmidlere temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinneren, og samtidig redusere isolasjonen i f.eks. yttervegg, og likevel få et resultat som er lavere enn det var ved å følge energiltakene punkt for punkt. Ved slike endringer må det beregnes og dokumenteres at endringene ikke fører til høyere energibruk. Ved beregninger generelt, og ved endringer, skal "Beregning av bygningers energiytelse – Metode og data", NS 3031:2007 brukes, eller en programvare som har beregningsmetoden fra NS 3031 fullt implementert, og er validert.

Ved bruk av andre verdier enn de som er listet opp i energitiltakslisten, må en passe på å overholde minstekrav som er vist i tabell 1.4.

Minstekrav energiltak	Krav
U-verdi yttervegg	0,22 W/m ² K
U-verdi tak	0,18 W/m ² K
U-verdi gulv på grunn og mot det fri	0,18 W/m ² K
U-verdi glass/vinduer/dører	1,6 W/m ² K
Lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell	
Småhus	3 Luftvekslinger per time
Øvrige bygg	3 Luftvekslinger per time

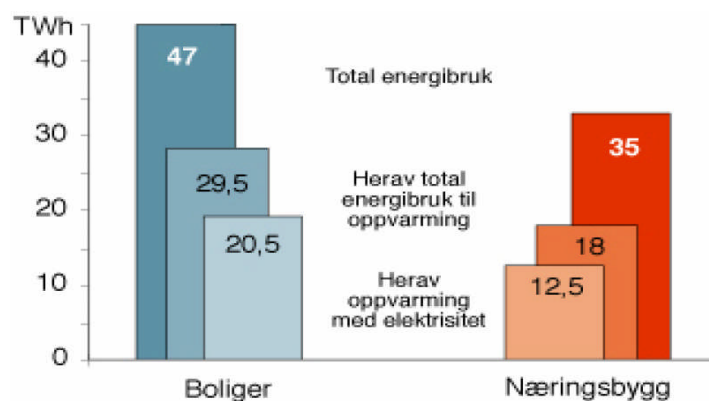
Tabell 1.4: Minstekrav [11]

Det finnes ytterligere krav til bygninger med laftede yttervegger og fritidsboliger under 150 m², men de er ikke tatt med her da de ikke er relevante for denne oppgaven.

Videre sier TEK 07 i §8-22 at en vesentlig del av varmebehovet skal dekkes av en annen energiforsyning enn elektrisitet og/eller fossile brenslers hos sluttbruker. Med en vesentlig del menes minimum 40 %. Dette kravet gjelder ikke bygninger med særlig lavt energiforbruk, eller dersom det fører til merkostnader over bygningens livsløp.

Den siste delparagrafen i § 8-2, § 8-23 sier at der hvor det er en kommunal vedtekt om tilknytningsplikt til fjernvarmeanlegg, skal bygninger utstyres med varmeanlegg slik at fjernvarme kan nyttes.

Som figur 1.1 viser er en betydelig del av oppvarmingsbehovet i norske bygninger dekket av elektrisk oppvarming. På bakgrunn av det store elektrisitetsforbruket i Norge til oppvarming er bestemmelsene om alternativ energiforsyning nedfelt i forskriftene.

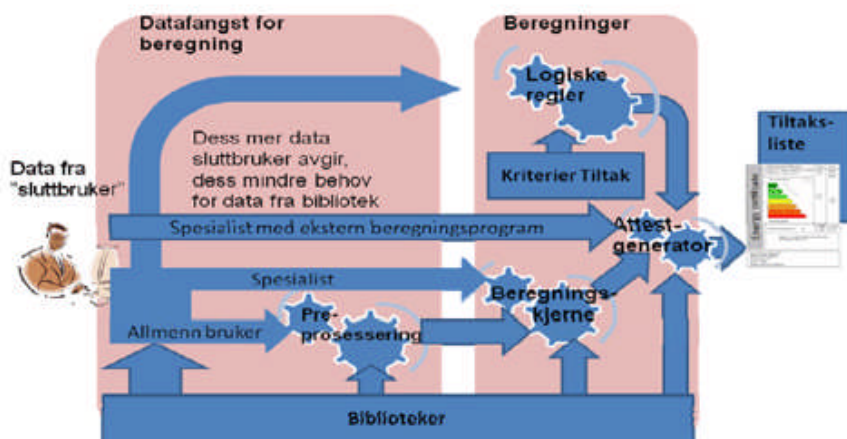


Figur 1.1: Energibruk i norske bygg[9]

1.6 Energimerking av boliger

Som nevnt i del 1.3 er ett av målene for Bygningsdirektivet å innføre et energisertifikat for bygninger. Forslaget om denne type energimerking i Norge er beskrevet i Ot.prp. nr. 24 (2008-2009) fra Olje- og energidepartementet og Innst. O. nr. 52. I løpet av 2010 blir denne ordningen obligatorisk over hele landet for alle som kjøper og selger bolig.

Energimerkesystemet er utviklet av Avenir AS på oppdrag for NVE og består av beregningskjerne, pre-prosesoor og attestgenerator. Hensikten med en slike oppbygningen er at sluttbruker skal kunne legge inn informasjon om aktuell bygning samt ha mulighet til å hente ut typiske verdier fra et databibliotek. Som vist i figur 1.2 vil data lagt inn av bruker bli beregnet og videre utviklet til en energiattest. Energiattester som blir generert lagres for den aktuelle bygningen i Energimerkesystemets database, slik at tidligere attester kan hentes frem.



Figur 1.2: Prinsipiell oppbygning av Energimerkesystemet [37]

Beregningen av energimerket gjøres i henhold til NS3031 og etter de samme regler som brukes når det vurderes om en bygning tilfredstiller byggeforskriftenes energikrav. Forskjellen er at energimerket bruker levert energi og ikke bygningens netto energibehov som vurderingsgrunnlag. Dette gjør at energimerket også tar hensyn til varmesystemets virkningsgrad. Dette betyr at to bygninger som får samme vurdering i byggforskriftene kan få ulik i vurdering i Energimerkesystemet grunnet forskjellige oppvarmingssystemer. Denne delen av energimerkesystemet er fortsatt under utvikling.

Energimerkesystemet er utviklet i to etapper, hvor del II skal leveres sommeren 2009. Første delen av Energimerkesystemet inneholder kun energimerking av boliger. Del II skal inneholde følgende:

- Tiltaksliste i energiattesten
- Utvidet mulighet til å gi detaljert informasjon om boligen/bygningen, inkludert ekspertadgang.
- Mulighet til å laste opp beregningsresultater fra eksterne beregningsprogram – kun eksperter.
- Mulighet til å registrere gjennomført energivurdering av tekniske anlegg (kjeler, klimaanlegg og varmeanlegg) – kun eksperter. [37]
-

Noen av funksjonene i Energimerkesystemet krever ”ekspert” - kompetanse. Hvilke kompetansekrav som stilles vil bli definert i forskriftene.

Når Energimerkesystemet er ferdigutviklet skal sluttbruker få mulighet til motta en energiattest som bevis på at bygningen er energimerket. Denne attesten vil bestå av følgende fem deler:

- **Energimerke**

En karakterskala som beskriver den samlede vurdering av bygningen basert på antall kWh/m₂ som er nødvendig for bygget ved normal bruk.

- **Oppvarmingsmerke (*under utvikling*)**

En tredelt karakterskala som kommer i tillegg til energimerket.

Beskriver mulighetene til å varme opp bygget med fornybar energi uten direkte bruk av elektrisitet og/eller fossilt brensel.

- **Energibruk (*under utvikling*)**

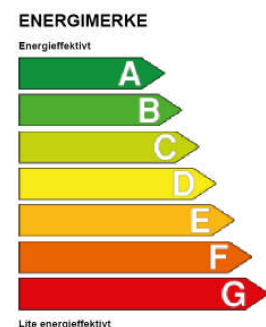
Gjennomsnittlig energibruk for de tre siste år, samt beregnet energibruk til sammenligning med målt.

- **Tiltaksliste (*under utvikling*)**

Tiltak som eier kan vurdere for å gjøre bygningen mer energieffektiv.

- **Sammendrag**

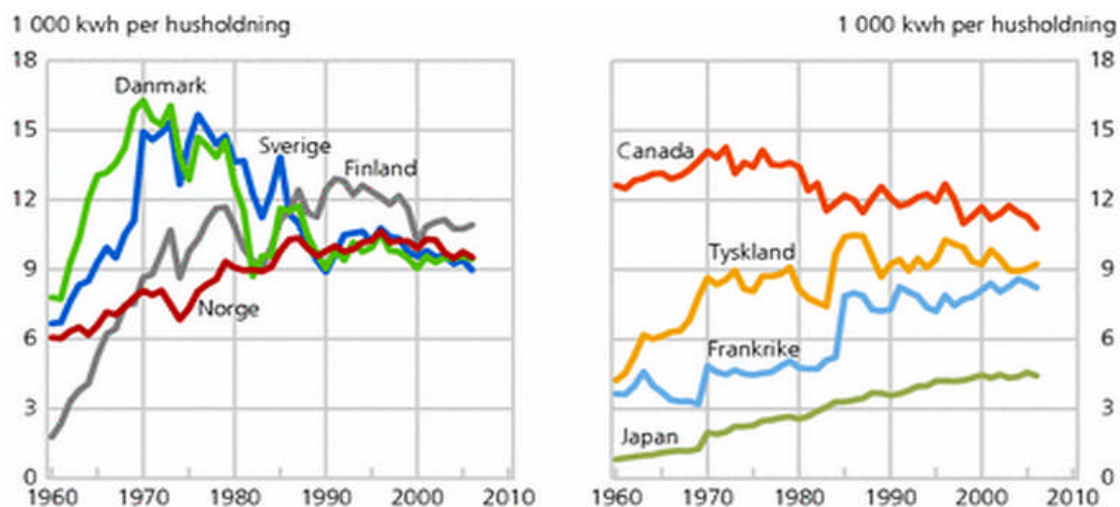
Inneholder de viktigste dataene gitt som grunnlag for energimerkingen.



Figur 1.3 Karakterskalaen for Energimerket. [37]

2 Utvikling av energibehov for bygninger i Norge

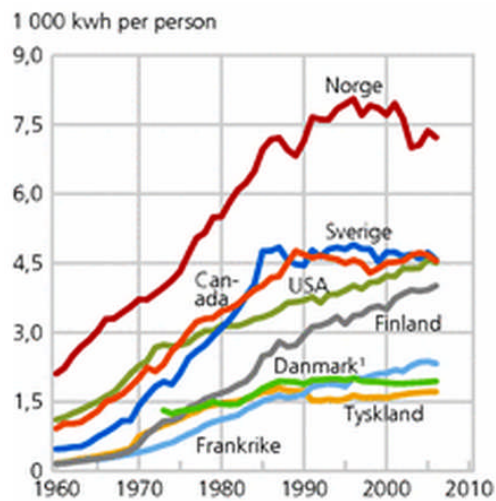
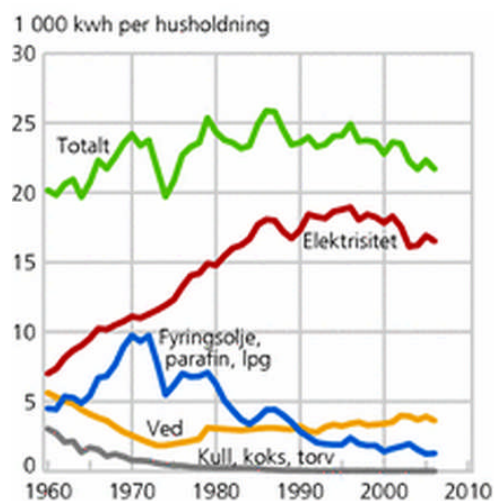
Klimaendringene som er erkjent den senere tid har økt den allmenne interesse for hvordan energi brukes og konsekvensene av de valg som tas i forhold til energibruk og klimautslipp. Selv om vi i Norge er storforbrukere av strøm, bruker ikke norske husholdninger mer energi enn andre land med kaldt klima. Norge bruker for eksempel mindre energi enn husholdningene i Finland og Canada .



Figur 2.1: Samlet energibruk i husholdninger i ulike land. 1960-2005. 1 000 kWh tilført energi per person. [13]

Nordmenn har relativt høy inntekt sammenlignet med innbyggere i mange andre land, kjøper større boliger og bruker mye elektrisk utstyr. Til tross for dette bruker vi ikke mer energi enn land med lignende klimaforhold totalt sett som vist i figur 2.1. Dette skyldes at vi bruker mindre av andre energikilder enn de land vi sammenligner oss med.

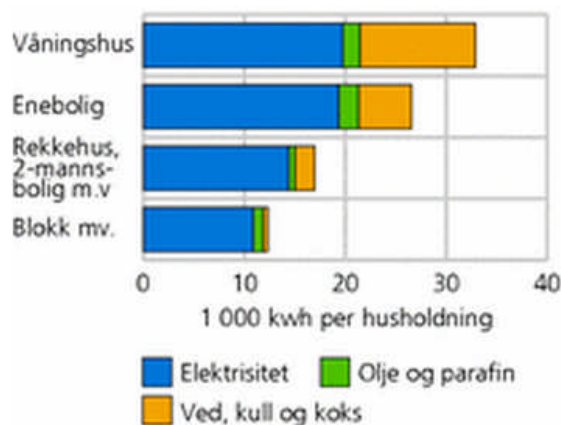
For noen år tilbake hadde vi billige strømpriser i Norge grunnet rikelig tilgang på vannkraft. I dag ligger strømprisene på OECD-gjennomsnittet, men fortsatt bruker norske husholdninger langt mer strøm enn i andre land. Dette skyldes at infrastrukturen for energi og oppvarmingsutstyr i de fleste boliger i all hovedsak fortsatt er strømbasert. Prisene på andre energikilder, slik som olje og gass, har også steget. Økte strømpriser, varmere klima, bedre isolasjon og mer energieffektivt elektrisk utstyr har likevel bidratt til at vårt energiforbruk til boligformål har gått ned. Figur 2.2 viser en oversikt over strømforbruk i Norge sammenlignet med andre land, og strømforbruket i Norge sammenlignet med bruk av andre energikilder[13,14].



Figur 2.2: Energibruk i Norge i boliger og fritidshus[13] Figur 2.3: Strømbruk per person i husholdninger i ulike land.[13]

I mange land, deriblant Norge, er energiforbruket per person lavere nå enn for 20-30 år siden. Dette kan forklares med overgang fra ved og olje til strøm og fjernvarme som har en høyere virkningsgrad.

Daglig adferd, boligtype og -størrelse, antallet elektriske apparater etc. avgjør hvor mye energi vi bruker i husholdningen. Energibruken i eneboliger er vanligvis større enn i blokkleiligheter, og henger blant annet sammen med antall personer i boligen, forskjeller i areal, og at eneboliger har flere yttervegger og vinduer. Tall fra 2006 viser at energiforbruket i en enebolig i gjennomsnitt var 26700 kWh, mens forbruket i en blokkleilighet var 12600 kWh.



Figur 2.4: Energibruk per husholdning, etter hustype og energikilde. 2006. [14]

2.1 Forandring i husholdningen

Fra 1980 til 2006 har boligarealene i norske husholdninger økt gradvis. Boligarealet i en gjennomsnittlig norsk husholdning har steget fra om lag 101 til 119 kvadratmeter, mens disponibel realinntekt, målt i faste priser, er nesten fordoblet i samme periode. Til tross for den store økningen i kjøpekraften og noe økning i boligareal, bruker norske husholdninger mindre energi nå enn for både 10 og 20 år siden. Mens en husholdning i gjennomsnitt brukte 25 000 kWh i 1996 var energibruken i gjennomsnitt 21 700 kWh i 2006.

Det er flere årsaker til at det brukes mindre energi i husholdningen nå enn for noen år tilbake. Som tidligere nevnt er økte energipriser en viktig årsak, som ikke minst inspirerer til mindre "sløsing". Dessuten har klimaet blitt varmere og boligene bedre isolert, som gjør at energibehovet hva gjelder oppvarming går ned. Selv om husholdningene fortsatt bruker mye elektrisk utstyr, har forbrukerbevisstheten økt hva gjelder krav til og valg av energieffektivt utstyr. I tillegg til dette har antall personer i husholdningene gått ned. I 2007 var det i gjennomsnitt 2,2 personer per husholdning, mens det var 3,3 i 1960. Det sier seg selv at antallet personer i boligen og deres daglige energibehov betyr mye. Jo flere som bor under samme tak, desto mer energi trengs det til vannvarming, matlaging og vasking, og desto flere elektriske artikler er det sannsynlig at husstanden har.

2.2 Isolasjon av boliger

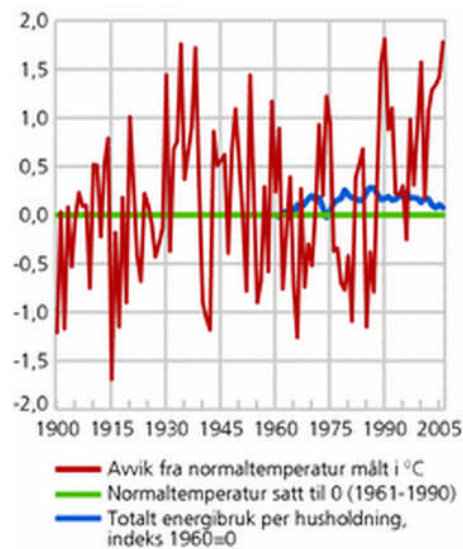
Kravet til bedre isolasjon av boliger har utvilsomt påvirket og endret energibruken til husholdningene. Tykkelsen på isolasjonen er gradvis blitt innskjerpet i norske byggeforskrifter fra bestemmelsene på 1940-tallet fram til de nyeste endringene som kom med TEK 07. Mens det i 1940 var påkrevd å ha minst 40 mm isolasjon i betongvegger, er det nå påkrevd med minst 200 mm mineralull i veggene. Det var heller ikke nødvendig med isolasjon i tak i 1940-årene, mens det i 1997 ble påkrevd med 300 mm i taket. Som nevnt tidligere har nå også byggeforskriftene krav om minimumsareal av vinduer og at u-verdier skal være innenfor minstekrav.

2.3 Temperatur

I tillegg til at energibruken har gått ned grunnet bedring av isolasjonsstandarder og andre rammekrav for bygninger vil også temperaturstigningen i Norge de siste årene innvirkning på energibehovet. Når temperaturen øker blir behovet for energi til oppvarming lavere. Ettersom rundt 60 % av energien brukt i husholdninger og rundt 50 % av energien brukt i næringsbygg går til oppvarming vil en temperaturstigning kunne medvirke til en markant nedgang i energibehovet i bygninger (figur 1.2).

Figur 2.5 viser avviket fra normaltemperaturen på årsbasis i perioden 1960-2006 samt total energibruk per husholdning fra og med 1960. I figuren er nivået i 1960 satt som 0-nivå. Samlet

energibruk nådde toppen i 1996 som var et relativt kaldt år. Både før og etter 1996 er nivået lavere. Figuren viser logisk nok at energibruken går opp ved lave og ned ved høye temperaturer. Videre viser figuren en kraftig nedgang i energibruk i perioden 1973-1975, som var relativt varme år. Denne markante nedgangen kommer av at høy temperatur falt sammen med høy oljepris. Fordi energibruken på den tiden var mer oljebasert enn nå, er det grunn til å anta at oljeprisen påvirket forbruket i stor grad. Tilsvarende gikk forbruket betydelig ned i perioden etter 2002, parallelt med økende strømpriser og stigende temperaturer. [14,15]



Figur 2.5: Avvik fra normaltemperatur målt i grader celsius for perioden 1900-2006 og utvikling i totalt energiforbruk per husholdning, 1960-2006 [15].

I perioden fra 1960 til 1990 brukte nordmenn som nevnt stadig mer strøm, men samtidig mindre av andre energikilder, slik at vårt totale energiforbruk siden da ikke har endre seg betydelig. Når forbruket ikke har vist større økning, har det sammenheng med at overgang fra olje og ved til strøm gir en effektivitetsgevinst grunnet tap ved omforming av energi. Dette blir nærmere omtalt i del III. Fra 1990-tallet har det gjennomsnittlige forbruk av strøm vært stabilt på rundt 75 % av vårt totale energiforbruk, mens vedforbruket har steget noe i den senere tid. Dette kan skyldes stigende strømpriser, samt utvikling av nye vedovner med implementering av katalysator eller etterbrenningskammer, som har bedre fyringsøkonomi. Disse vedovnene kan ha virkningsgrader opp mot 90 % sammenlignet med bare 35 % for eldre ovner. Vedforbruket har til dels også erstattet et synkende oljeforbruk. Det er tydelig at energibehovet i Norge svinger litt fra år til år, og skyldes blant annet årlige variasjoner i temperatur og energipriser. [14,16]

Inklusive avgifter og overføringer for norske husholdninger har prisen på elektrisitet i Norge ligget på 40-50 øre/kWh frem til tusenårsskiftet, målt i faste 1998-priser. Det er meget lavt sammenlignet med andre land i Europa. Strømprisene har steget en del etter år 2000, og nådde

en topp i 2003 og i 2006 på rundt 90 øre/kWh. Om lag 5 prosent av forbrukerutgiftene til norske husholdninger i 2006 gikk til energi, hvor av det meste gikk til strømuttergifter[14].

Norske husholdninger bruker mest elektrisitet per person i hele verden (se figur 2.3). I 2001 og 2004 brukte 2/3 av husholdninger i Norge elektrisitet som hovedoppvarming. I 2006 hadde 98 % av alle norske husholdninger elektriske ovner eller varmekabler. Vedovner var i bruk av rundt 69 %, men da i kombinasjon med elektriske ovner. Som nevnt har de fleste andre land tradisjonelt hatt mye dyrere strømpriser sammenlignet med Norge. Dette har ført med seg større sparsommelighet i forhold til strømbruk og en annen oppbygging av infrastruktur for energi.

2.2 Netto energibehov

Ved å sammenligne utviklingen og endringen av kravene for bygningsstandarder i de senere år, kan det være mulig å estimere et fremtidig energibehov for bygninger i Norge. Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk, TEK, ble tatt i bruk første gang i 1997 og revidert i 2007. Ved å sammenligne de ulike dataene i disse utgavene av TEK, er det mulig å estimere en antatt utvikling når det gjelder nye byggestandarder frem mot 2020. Tabell 2.1 viser at kravene for bygningene med hensyn på energibruk har blitt strammet inn i den reviderte utgaven, TEK07.

Energiltak	TEK 97	TEK 07	
Samlet glass- vindus- og dørareal	20%	20%	Av bygningens bruksareal
U-verdi yttervegg	0,22	0,18	W/m ² K
U-verdi tak	0,15	0,13	W/m ² K
U-verdi gulv på grunn og mot det fri	0,15	0,15	W/m ² K
U-verdi glass/vinduer/dører	1,6	1,2	W/m ² K
U-verdi glassvegger og glasstak	2,0	1,2	W/m ² K
Normalisert kuldebroverdi skal ikke overstige			
Småhus	¹	0,03	W/m ²
Øvrige bygg	¹	0,06	W/m ²
Lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell			
Småhus	4	2,5	Luftvekslinger per time
Øvrige bygg	3 / 1,5 ²	1,5	Luftvekslinger per time
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad v.v.	60%	70%	
Spesifikk vifteeffekt			
Næringsbygg (dag/natt)	Ingen krav	2/1	kW/m ³ s
Bolig	Ingen krav	2,5	kW/m ³ s
Kjøling	Minst mulig	Unngå lokalkjøling	
Temperaturstyring	Ingen krav	Natt og helgesenking til 19 °C (17 °C for idrettsbygg)	

Tabell 2.1: Sammenligning av TEK97 og TEK07 [11]

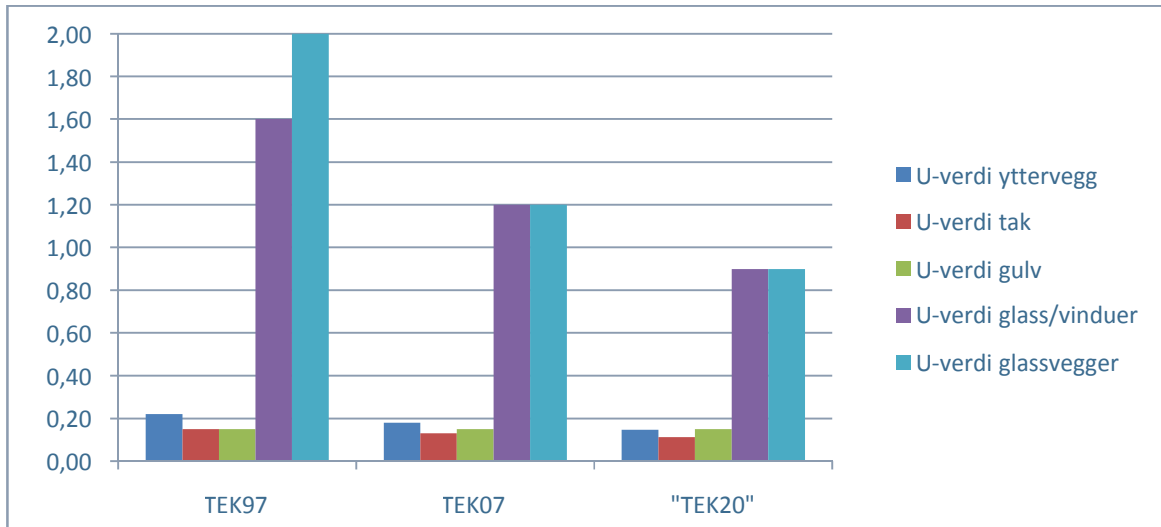
¹ Inkludert i U-verdien for bygningsdelene ² 3 for bygg inntil 2 etg., 1,5 bygg over 2.etg.

For å estimere eventuelle nye krav til byggverk og produkter til byggverk i tiden fremover antas det at verdiene i u-verdikrav gitt i TEK07 ytterligere vil reduseres frem mot 2020. Dette gjøres ettersom lavere u-verdier i vegg, tak, gulv og vinduer fører til lavere energi brukt til oppvarming. For å sammenligne TEK97 og TEK07 med antatte krav for tiden frem mot 2020, er u-verdiene i disse to forskriftene sammenlignet og sett i forhold til en eventuell ny TEK, her kalt "TEK20". I denne fiktive utgaven av en ny forskrift er u-verdiene for de respektive kategoriene antatt å forandre seg med samme prosentandel fra TEK07 som TEK07 forandret seg fra TEK97. Dette gjelder også for kategorier som inneholder andre verdier enn u-verdier. I kategorier hvor det ikke var noen krav til energiltak i 1997, er dette antatt ikke å forandre seg fra TEK07 i den fiktive utgaven "TEK20". Det antas også at vindus- og dørareal ikke forandrer seg på bakgrunn av naturlig belysning og generell komfort, og at temperaturvirkningsgraden for varmevekslere øker til 80%. Ettersom u-verdiene for glassvegger og glass/vinduer/dører er de samme i TEK07, er de også satt like i "TEK20" basert på nedgangen i u-verdien for glass/vinduer. Tabell 2.2 viser de nye energiltakene i "TEK20".

Energiltak	"TEK20"	
Samlet glass- vindus- og dørareal	20%	Av bygningens bruksareal
U-verdi yttervegg	0,15	W/m ² K
U-verdi tak	0,11	W/m ² K
U-verdi gulv på grunn og mot det fri	0,15	W/m ² K
U-verdi glass/vinduer/dører	0,9	W/m ² K
U-verdi glassvegger og glasstak	0,9	W/m ² K
Lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell		
Småhus	1,6	Luftvekslinger per time
Øvrige bygg	1,5	Luftvekslinger per time
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad v.v.	80%	

Tabell 2.2: Krav til energiltak i fiktiv fremtidig utgave av TEK: "TEK20"

Selv om de nye energiltakene, "TEK20", er basert på foregående tiltak fra TEK97 og TEK07, er resultatet sannsynlig. At fremtidige forskrifter ytterligere vil stramme inn energibruken i bygninger, ved å senke varmegjennomgangen i vegger, gulv og tak, er en vedvarende trend helt fra 1940-tallet.



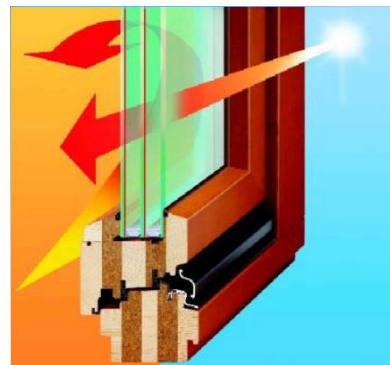
Figur 1.6: Sammenligning av TEK97, TEK07 og "TEK20"

En grafisk fremstilling av endringene i energiltakene fra TEK97 frem til "TEK20" viser at det er u-verdier på vinduer som har endret seg mest (figur 2.6). Når det ble satt restriksjoner på u-verdi og areal på glass- og vindusoverflater, i utgangspunktet med TEK97, var det fordi store mengder varme går tapt gjennom slike flater. Varmegjennomgangstallet for glass- og vindusoverflater er mye større enn for vegg, tak og gulv ettersom disse er isolert med mineralull og isoporplater. I de opprinnelige energiltakene, TEK97, var u-verdien for vinduer over 7 ganger større enn for tak. Dette forholdet er for "TEK20" redusert til 6.

Byggmaterialer har i de siste årene utviklet seg mye med tanke på energieffektivisering. Mange materialprodusenter har begynt å merke produktene sine med "lavenergi" og "energisparende". Det er også blitt større fokus på presisjonen ved konstruksjon av nye bygg, slik som for eksempel ved karm- og rammekonstruksjoner, bindingsverksvegger og etasjeskillere.

Figur 2.7 viser et snitt av vindus- og karmkonstruksjonen fra det tyske firmaet Winter Holzbau GmbH, som med denne løsningen har oppnådd en u-verdi på $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Løsningen består av en spesialdesignet karm med et trippellags vindu som er isolert med edelgass. Ettersom disse vinduene allerede er i utviklingsstadiet, styrker det teorien om at en u-verdi på $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ for glass- og vindusoverflater vil være mulig å få inn som et energiltak i den reviderte utgaven av TEK, "TEK20" [19].



Figur 2.7: Vindu- og karmkonstruksjon med u-verdi på $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$

2.3 Beregninger for netto energibehov

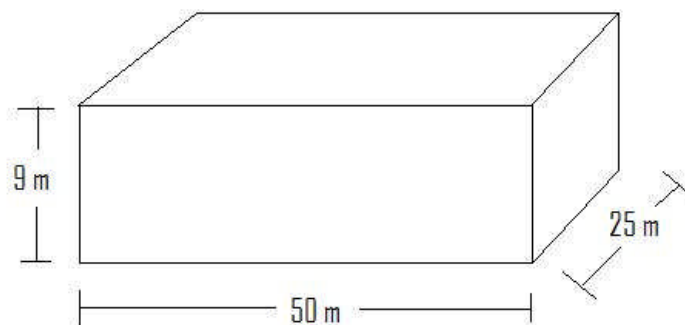
For å se en konkret forandring i energibehov for bygninger i Norge i den senere tid er det mulig å beregne energibehov ut i fra tidligere standarder. Ved bruk av samme metode er det mulig å estimere et faktisk behov i tiden frem mot 2020 for samme bygget ved bruk av de fiktive energiltakene vist i "TEK20".

For beregne netto energibehov for bygninger i Norge, kan det gjøres ved å opprette et fiktivt bygg. Når en oppretter et fiktivt bygg, kan inndata, slik som u-verdier og energibehov ved ulike poster, enkelt forandres. Det fiktive bygget er tenkt plassert i Oslo-klima.

Bygget er et kontorbygg med indre dimensjoner på 50 x 25 m, og fordeler seg over 3 etasjer. Dette gir et oppvarmet bruksareal på 3750 m². Etasjehøyden er satt til 2,7 m, som fører til at ventilert volum blir 10125 m³.

Det er tenkt at bygget ligger i et rimelig tettbebygd område, og dermed rimelig skjermet. Dette vil ha innvirkning på skjerming fra sol, vær og vind.

Det legges også til grunn at bygget er middels tungt i forhold til bygningens normaliserte varmekapasitet.



Figur 2.8: Skisse av bygget

2.3.1 NS3031

For å beregne netto energibehov på bygninger i Norge brukes NS 3031 som er utviklet av Norsk Standard [18].

NS 3031 kompletterer og følger reglene og metodene der de finnes i de europeiske standardene, er knyttet til Bygningsdirektivet og gir brukeren de nødvendige valgene og beregningsdata som det åpnes for i de europeiske standardene [20].

Beregningsmetoden i NS 3031 baserer seg på månedsberegninger. Standarden kan brukes til å vurdere om bygninger tilfredstiller energikrav, dokumentere teoretisk energibehov, optimalisere energiytelsen til en ny bygning ved å bruke metoden på alternative løsninger og vurdere virkning av mulige energiltak.

2.3.2 Beregningsmetode

I avsnittet under presenteres de ulike delene av NS3031 brukt i denne oppgaven for å beregne netto energibehov.

2.3.2.1 Oppvarmingsbehov for romoppvarming og ventilasjonsvarme

Oppvarmingsbehov for måned i er gitt av:

$$Q_{H,nd,i} = Q_{H,ls,i} - \eta_{H,i} Q_{gn,i} \quad (\text{kWh}) \quad (4.1)$$

der

$Q_{H,ls,i}$ er varmetapet i måned i

$Q_{gn,i}$ er varmetilskuddet i måned i

$\eta_{H,i}$ er utnyttingsfaktoren i måned i

2.3.2.1.1 Varmetapet for måned i er gitt av

$$Q_{H,ls,i} = (H_D + H_U + H_V + H_{inf})(\theta_{set,H} - \theta_{e,i})t_i + Q_{g,i} \quad (\text{kWh}) \quad (4.2)$$

der

H_D er transmisjonstap til det fri

H_U er transmisjonstap til uoppvarmede soner

H_V er ventilasjonstap

H_{inf} er infiltrasjonstap

$\theta_{set,H}$ er settpunkttemperaturen for oppvarming

$\theta_{e,i}$ er gjennomsnittlig utetemperatur i måned i

$Q_{g,i}$ er varmetap til grunnen

t_i er timer i måneden

2.3.2.1.2 Varmetap gjennom konstruksjoner mot det fri

$$H_D = \sum_i U_i A_i + \sum_k \psi_k l_k \quad (\text{W/K}) \quad (4.3)$$

der

A_i er arealet til bygningsdelen

U_i er u-verdien til bygningsdelen

ψ_k er kuldebroverdi

l_k er lengden av kuldebro

Kuldebroer kan alternativt beregnes som

$$\sum_k \psi_k l_k \approx \psi'' A_{fl}$$

der

A_{fl} er oppvarmet BRA m^2

ψ'' er normalisert kuldebroverdi $\text{W/m}^2\text{K}$

2.3.2.1.3 Varmetap til uoppvarmede soner

$$H_U = b \left(\sum_i U_i A_i + \sum_k \psi_k l_k \right) \quad (\text{W/K}) \quad (4.4)$$

der

b er varmetapsfaktoren for redusert varmetransport

2.3.2.1.4 Varmetap mot grunnen gjennom bygningsdel

$$Q_{g,i} = t_i \left[H_g (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) + H_{pe} \hat{\theta}_e \cos \left(2\pi \frac{i-1-\beta}{12} \right) \right] \quad (\text{kWh}) \quad (4.5)$$

der

H_g er stasjonær varmetransportkoeffisient W/K

H_{pe} er dynamisk varmetransportkoeffisient W/K

$\bar{\theta}_i$ er årsmiddeltemperaturen inne K

$\bar{\theta}_e$ er årsmiddeltemperaturen ute K

$\hat{\theta}_e$ er amplitudevariasjonen omkring årsmiddeltemperaturen ute K

β er faseforskjellen mellom utetemperatur og varmetap. 2 for gulv på grunn.

2.3.2.1.5 Varmetransport på grunn av ventilasjon

$$H_V = 0,33 \cdot \dot{V} (1 - \eta_T) \quad (\text{W/K}) \quad (4.6)$$

der

\dot{V} er gjennomsnittlig ventilasjonsluftmengde m^3/h

η_T er temperaturvirkningsgraden fra varmegjenvinneren

2.3.2.1.6 Varmetransport på grunn av infiltrasjon

$$H_{\text{inf}} = 0,33 \cdot n_{\text{inf}} \cdot V \quad (\text{W/K})$$

der

V er oppvarmet volum m^3

n_{inf} er gitt ved

$$n_{\text{inf}} = \frac{n_{50} \cdot e}{1 + \frac{f}{e} \left(\frac{\dot{V}_1 - \dot{V}_2}{V \cdot n_{50}} \right)^2} \quad (1/\text{h}) \quad (4.7)$$

der

n_{50} er lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell 1/h

f, e er terrengskjermingskoeffisier

\dot{V}_1 er tilluftsmengde m^3/h

\dot{V}_2 er avtrekksmengde m^3/h

2.3.2.2 Varmetilskudd

$$Q_{gni} = Q_{sol i} + Q_{inti} \quad (\text{kWh}) \quad (4.8)$$

2.3.2.2.1 Soltilskudd beregnes ved

$$Q_{sol i} = t_i \sum I_{sol,i} A_S F_S \quad (\text{kWh}) \quad (4.9)$$

der

$I_{sol,i}$ er månedsgjennomsnittlig strålingsfluks mot vinduene W/m^2

A_S er effektivt vindusareal m^2

F_S er solskjermingsfaktor

2.3.2.2.2 Internt varmetilskudd

$$Q_{int} = t_i (q''_{lys} + q''_{uts} + q''_{per} + q''_{fan}) A_{fl} \quad (\text{kWh}) \quad (4.10)$$

der

q'' er spesifikt varmetilskudd fra helholdsvis lys, utstyr, personer og vifter (W/m^2)

Tilskudd fra lys, utstyr og personer hentes fra tabell A.2. NS 3031, men tilskudd fra vifter beregnes etter:

$$q''_{fan} = 0,33 \cdot \frac{\dot{V} [(1-\eta_T)\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2 + \eta_T\Delta\theta_3]}{A_{fl}} \quad (\text{W}/\text{m}^2) \quad (4.11)$$

der

$\Delta\theta$ er temperaturøkning over vifter i ventilasjonsaggregatet (K)

\dot{V} er gjennomsnittlig ventilasjonsmengde (m^3/h)

2.3.2.3 Energibehov for kjøling

$$Q_{C,nd,i} = Q_{gn,i} - \eta_{C,i} Q_{C,Is,i} \quad (\text{kWh}) \quad (4.12)$$

der

$\eta_{C,i}$ er utnyttingsfaktoren for kjøling

2.3.2.4 Energibehov tappevann

$Q_{W,nd}$ hentes fra tabell A.1. i NS 3031

2.3.2.5 Energibehov vifter og pumper

2.3.2.5.1 Energibehov til vifter

$$E_{fan,i} = \frac{\dot{V}_{on} SFP_{on} t_{i,on} + \dot{V}_{red} SFP_{red} t_{i,red}}{3600} \quad (\text{kWh}) \quad (4.13)$$

der

\dot{V}_{on} og \dot{V}_{red} er luftmengdene i og utenfor driftstiden (m^3/h)

SFP_{on} og SFP_{red} er spesifikk vifteeffekt i og utenfor driftstiden ($\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}$)

$t_{i,on}$ og $t_{i,red}$ er timer i og utenfor driftstid (h)

2.3.2.5.1 Energibehov til pumper

$$E_p = \dot{V}_w SPP \cdot t_{dr} \text{ (kWh)} \quad (4.14)$$

der

\dot{V}_w er sirkulert vannmengde gjennom pumpen (l/s)

SPP er spesifikk pumpeeffekt (kW/l/s)

t_{dr} er antall drifttimer i året for pumpe (h)

2.3.2.6 Årlig netto energibehov

$$E_t = \sum_1^{12} (Q_{H,nd,i} + Q_{C,nd,i} + E_{fan,i} + E_{defrost,i}) + Q_{W,nd} + E_p + E_l + E_{eq} \text{ (kWh/år)} \quad (4.15)$$

der

$Q_{H,nd,i}$ er oppvarmingsbehov i måned i (kWh)

$Q_{C,nd,i}$ er kjølebehov for måned i (kWh)

$E_{fan,i}$ er energibehov vifter måned i (kWh)

$E_{defrost,i}$ er varmebehov til frostsikring av v.g.v. for måned i (kWh)

$Q_{W,nd}$ er årlig energibehov til oppvarming av tappevann (kWh/år)

E_p er årlig energibehov pumper (kWh/år)

E_l er årlig energibehov belysning (kWh/år)

E_{eq} er årlig energibehov utstyr (kWh/år)

2.3.3 Resultater fra beregninger

Ved beregningene er energitiltakene i henholdsvis TEK97, TEK07 og "TEK20" brukt. Disse er implementert i NS3031, som er blitt fulgt punkt for punkt. Som forklart tidligere er det valgt å holde kravet om maksimalt 20% glass i forhold til oppvarmet BRA vindusarealer konstant grunnet naturlig belysning og komfort. For antagelser, parametere og beregninger, se vedlegg.

Energipost	Resultat		
	TEK97	TEK07	"TEK20"
Oppvarmingsbehov QH,nd [kWh/år]	234352,0	151894,5	83244,8
Kjølebehov QC,nd [kWh/år]	35981,1	70168,6	94626,4
Energibehov vifter E fan [kWh/år]	57250,0	57250,0	57250,0
Energibehov tappevann QW,nd [kWh/år]	18720,0	18720,0	18720,0
Energibehov belysning E l [kWh/år]	93750,0	93750,0	93750,0
Energibehov utstyr E eq [kWh/år]	127500,0	127500,0	127500,0
Energibehov pumper E p [kWh/år]	8222,1	7608,6	6875,9
Netto energibehov [kWh/år]	575975,2	526891,6	481967,0
Spesifikt netto energibehov [kWh/m² år]	153,6	140,5	128,5

Tabell 2.3: Resultat av beregninger for TEK97, TEK07, "TEK20"

Tabell 2.3 viser at netto energibehov for det fiktive bygget reduseres kraftig med implementering av nyere energitiltak. Reduksjonen i netto energibehov er omlag 9 % fra TEK97 til TEK07, og omlag 17 % fra TEK97 til "TEK20".

Som vist er energibehovet for belysning og varmt tappevann beregnet til de samme verdiene i alle de tre energikravene. Bakgrunnen for dette er at det antas ikke å forandre seg mye i tiden fremover. Når det gjelder varmt tappevann er dimensjonert mengde vann nødvendig for å opprettholde hygiene og bruk av våtrom. For belysning kan det tenkes at mer bruk av energisparende lys kan implementeres i fremtiden. Ettersom vanlige lysarmaturer avgir varme, antas det i denne oppgaven at eventuelle fremtidige krav om energisparende lys i bygninger vil kansellere det varmetilskuddet som kommer fra dagens lysarmaturer sett i forhold til oppvarmingsbehovet.

Hva gjelder energibehov for utstyr, er det også antatt på bakgrunn av del I, at når elektriske artikler blir mer energieffektive, vil en økning i antall ikke påvirke energibehovet stort.

Det som er interessant å merke seg i denne tabellen er hvor drastisk oppvarmingsbehovet reduseres med de nye energiltakene. Reduksjonen i oppvarmingsbehovet er beregnet til omlag 35 % fra TEK97 til TEK07 og omlag 64 % fra TEK97 til "TEK20". Dette grunnet de lavere u-verdiene for vegg, tak og vinduer i de nye forskriftene. Ettersom u-verdiene i "TEK20" gjør at varmegjennomgangen i bygningskroppen er tydelig redusert fra tidligere forskrifter, trenger bygget mer kjøling i de varmeste månedene av året for å opprettholde optimal innetemperatur.

Med tanke på implementering av et sentralt vannbårent system for å dekke energibehovet for oppvarming i bygninger i fremtiden, vil det på bakgrunn av disse beregningene også være behov for fjernkjøling. Beregning på "TEK20" viser at det i fremtiden vil være påkrevd med kjøling i bygg, ettersom energibehovet for denne kategorien faktisk overskrider energibehovet for oppvarming.

3 Primærenergi og CO₂ utslipp ved fornybar fjernvarme

3.1 Primærenergi

Primærenergi er definert som energi som ikke har blitt utsatt for noen omformings- eller overføringsprosess, og står i den nye standarden Bygningers energiytelse, Bestemmelse av total energibruk og energiytelse, NS-EN 15603:2008[21]. En annen måte å beskrive primærenergi på er energiråstoffer som vi utvinner direkte fra naturen.[22]

Eksempler på primærenergikilder er råolje, vind, vann i vassdrag og uran.

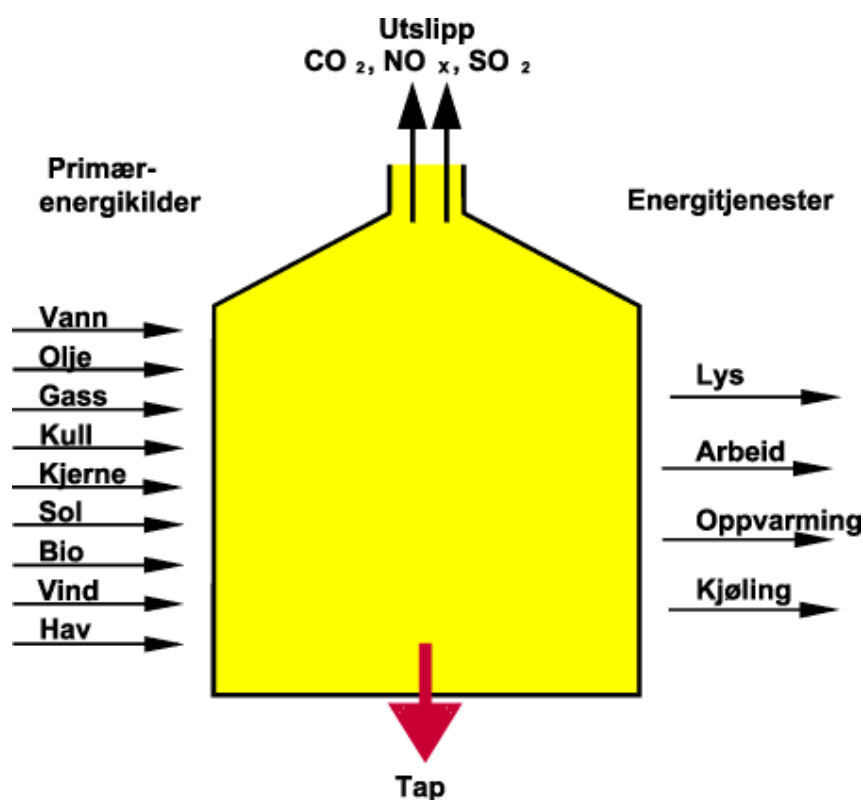
Primærenergi finnes sjelden i en form som en sluttbruker kan nyttiggjøre seg direkte av. Energikilden må vanligvis gå gjennom prosesser, slik at den egner seg for distribusjon og bruk i hverdagen. Når energikilden er blitt omformet til nytteverdig energi, kalles den en energibærer. For å gjøre primærenergien tilgjengelig i former som elektrisitet, naturgass og parafin, er det nødvendig at en eller flere av disse komponentene er til stede:

- sentrale energiomformere, for eksempel kraftverk, varmesentraler eller fjernvarmeanlegg
- transportkanaler, for eksempel distribusjonsnett for elektrisitet, fjernvarme, naturgass eller tilførsel av søppel til forbrenningsanlegg
- innretninger hos sluttbrukerne, for eksempel panelovner, radiatorer, motorer, oljefyringsanlegg eller vedovner

Ettersom tap forekommer i hele energisystemet, fra primærenergi til sluttbruker, både som varmetap til omgivelsene og i form av redusert anvendelighet etter omforming, finnes det sentrale begreper som beskriver denne sammenhengen:

- brutto energiforbruk, - et mål på bruk av primærenergi eller energibærere
- nyttiggjort energi, - et mål på energiforbruket etter tap i omformingsprosessen
- virkningsgrad, - et mål på hvor stor del av bruttoenergien som omformes til nyttig energi

For å gjøre energikilder tilgjengelige og for å produsere energitjenestene det er behov for, trengs et nettverk av energiomformere, distribusjonskanaler og innretninger for konvertering til sluttbruk. Dette energisystemet kan sammenlignes med energiomsetningen som foregår i en stor kjel. Ved å sette systemgrensen for energisystemet helt fra energiråstoffene til sluttbruker, gis det en oversikt over hvordan primærenergi kan tolkes[21,22].



Figur 3.1 Sammenheng mellom primærenergi og leveranse av energitjenester[22]

I kjelen inngår alt fra kraftverk og elektriske overføringsledninger til panelovner, fjernvarmesystemer og bilmotorer. Mengden primærenergi fra energikildene som må inn i kjelen avhenger i utgangspunktet av hvor stort behov det er for de enkelte energitjenestene. Ved å ta oppvarmingsbehov i bygninger som et eksempel, avhenger primærenergien her blant annet av hvor godt isolerte bygningene er, ettersom lavere u-verdi gir et lavere oppvarmingsbehov(vist i del 2). Det er også avgjørende hvor varmt vi ønsker å ha det inne, ettersom høyere temperatur krever mer energi.

Mengde primærenergi som er nødvendig for å dekke energitjenestene avhenger i stor grad av hvordan energien omformes og transformeres gjennom kjelen. På et tidspunkt i kjelen dannes primærenergien om til en energibærer som kan brukes til å utføre forskjellige energitjenester. Som nevnt tidligere er elektrisitet den mest vanlige i Norge. Elektrisitet er den energibæreren med høyest eksergiandel (100%), som teoretisk sett betyr at elektrisitet i sin helhet kan omformes til mekanisk energi. Oppvarmingsbehov kan derimot dekkes ved energiformer av med lavere eksergiandel, for eksempel ved ulike former for vannbåren varme.

Det er et overordnet mål å minimalisere energitap fra primærenergi til sluttbruker, og i hvilken grad dettes oppnås avhenger av veivalget gjennom kjelen[20,21,22,23].

3.1.2 Primærenergifaktor (PEF)

Primærenergimetoden gjør det mulig å enkelt legge sammen forskjellige typer energi, for eksempel termisk og elektrisk. Dette kommer av at når det gjøres beregninger på bruk av primærenergi i for eksempel en bygning, inkluderes alle tapene i hele energikjeden, også utenfor bygningens systemgrense. Disse tapene er inkludert i det som kalles en primærenergifaktor.

Primærenergifaktoren for en gitt energibærer, ikke fornybar eller fornybar, er primærenergien delt på den leverte energien, der primærenergien er det som kreves for å tilføre én enhet levert energi. Levert energi kan også omtales som nyttiggjort energi hos sluttbruker.

Det er i denne faktoren tatt i betraktning den energien som kreves ved utvinning, prosessering, lagring, transport, generering, overføring, distribusjon og alle andre nødvendige operasjoner for å levere energien til sluttbruker.

Eksempel på bruk av PEF:

Bygning A eksporterer varme til bygning B. Varmetransporten fra bygning A til B kan sammenlignes med varmetransporten ved fjernvarme. Primærenergifaktoren for bygning B inkluderer da tapet i system mellom bygninger samt tap ved generering av energi for bygning A osv. [21,22]

Følgende ligning kan så bli brukt for å beregne primærenergibehovet:

$$E_P = \sum (E_{del,i} f_{P,del,i}) - \sum (E_{exp,i} f_{P,exp,i})$$

hvor

$E_{del,i}$ er levert energi for energibærer i ;

$E_{exp,i}$ er eksportert energi for energibærer i ;

$f_{P,del,i}$ er primærenergifaktoren for den leverte energibæreren i ;

$f_{P,exp,i}$ er primærenergifaktoren for den eksporterte energibæreren i .

Ettersom primærenergifaktor er et relativt nytt konsept, er den ikke enda implementert i norske forskrifter. Det er fortsatt ikke bestemt hvilke parametere som bør inngå i en standard primærenergifaktor, men i tillegg til de nevnt ovenfor i del 3.1 kan en fremtidig primærenergifaktor også komme til å inneholde:

- Energi til å bygge energiomformingsenheter
- Energi til å bygge transportsystemer
- Energi til å rense eller kvitte seg med unyttig avfall

3.2 Fornybar fjernvarme

Fornybar fjernvarme er i denne oppgaven definert som et fjernvarmesystem som bruker en eller flere fornybare ressurser som energikilde.

Begrepet fornybar fjernvarme er valgt for å få fokus på at fjernvarme kan utnyttes uten at det forbrennes fossile brensler, slik som olje og gass. Ved å definere og innføre et slikt begrep, kan fjernvarme som metode og system bringes inn i et nytt og attraktivt lys, også sett med politiske øyne.

3.2.1 Elektrisitet som energikilde

I Norge er nesten all elektrisitet produsert i vannkraftverk, og vannkraft er definert som en fornybar ressurs. Å bruke elektrisitet som energibærer til fjernvarme derimot, er ikke den beste løsningen. Dette ligger implisitt i forklaringen ovenfor, da produksjon av elektrisk kraft til produksjon av varme vil gi en meget lav primærenergifaktor. Elektrisk energi basert på vannkraft er derfor ikke tatt i betraktning ved bruk av en fornybar ressurs til fjernvarme. [14]

3.2.2 Biomasse som energikilde

Biomasse er en fellesbetegnelse på brensel fra planter og trær, skogsavfall og gjødsel. Alt biologisk materiale kan i teorien brukes som biomasse. I dag brukes skogsflis, slakteavfall, halm og husdyrgjødsel til å produsere energi. Biomasse består blant annet av karbon og hydrogen, som gjør at det derfor har stor energitetthet.

Bruken av biomasse til energiproduksjon er ikke noe nytt fenomen. Siden tidenes morgen har ved, kvist, halm og annen brennbar biomasse blitt brukt til oppvarming ved opptenning. Det er i senere tid at potensialet for bruk av biomasse i en større skala har blitt interessant. Biomasse er rangert som den fjerde største energiressursen på jorda. Men selv om energipotensialet er stort, er det ikke ønskelig å utnytte alt biologisk materiale til bruk i energiproduksjon ettersom dette kan gå utover blant annet matproduksjon.

I dag produseres ca. 15 % av verdens totale energibruk av biomasse. Biomasse er den største energikilden i utviklingsland, der den står for 35 % av bruken. Tabell 3.1 viser utnyttbart energiinnhold i vanlig brukte biobrensler ved bruk til varmegenerering[24,26].

Biobrensel	Utnyttbar energi [kWh/tonn]
Gran	3800-4100
Furu	
Bjørk	
Bark	5850-10050
Halm	11800-14000
Torv	1250

Tabell 3.1: Energiinnhold i utvalgte biobrensler.[30]

Biomasse er definert som en fornybar ressurs kun dersom en utnytter den årlige tilveksten.

3.2.2.1 CO₂-utslipp ved forbrenning av biomasse

En av de viktigste årsakene til at det har blitt satt større fokus på biobrensler den siste tiden er at forbrenning av biobrensler ses på som CO₂ nøytralt.

Grunnen til at biobrensel omtales som et CO₂ nøytralt brensel, er at samme mengde CO₂ bundet i biomassen vil slippes ut i atmosfæren ved å la biomassen råtne i naturen, som mengden som frigjøres ved forbrenning. Dog gjelder dette kun når visse kriterier er oppfylt: [24]

- Det brukes ikke fossilt brensel til sanking eller transport av biomassen
- Det brukes ikke elektrisitet produsert av fossilt brensel tilknyttet bioanlegget
- Man oppnår lave utslipp fra ufullstendig forbrenning

Den nye standarden, NS-EN 15603, oppgir likevel et lite utslipp av CO₂ ved bruk biobrensler til produksjon av energi.

Biobrensel	CO ₂ produksjonskoeffisient [kg/MWh]
Kutterspon/flis	4
Vedkubber	14
Bøktrær	13
Grantrær	20

Tabell 3.1 Oversikt over CO₂utslipp for utvalgte biobrensler ved produksjon av energi.

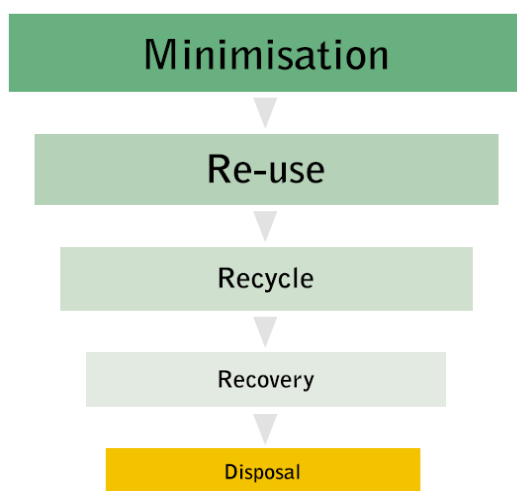
Tabell 3.1 viser en oversikt over CO₂ utslippet for bruk av utvalgte biobrensler. Disse verdiene er bort imot neglisjerbare når en ser det i forhold til forbrenning av et fossilt brensel. Til sammenligning, avgir kull ved forbrenning til energiproduksjon 1340 kg CO₂/MWh . Dette er 335 ganger større enn ved forbrenning av treflis[21,24,26].

3.2.3 Avfall som energikilde

Avfall er i denne oppgaven definert som avfall produsert fra husholdninger, samt avfall fra næring og industri med samme karakteristikk som husholdningsavfall som skal deponeres på landfyllinger. Dette er også kjent som Municipal Solid Waste, eller MSW, internasjonalt.

Avfall kan være et krevende ansvar for et samfunn hvis det forutsetter deponering, men kan også være en betydelig ressurs hvis det fordelaktig blir gjenvunnet. Eksempler på dette er allerede innførte systemer med gjenvinning av metall, glass, papir, etc.

Mange industrialiserte land har sluttet seg til et energisparende avfallshierarki for å styre planleggingen av avfallshåndtering. Hierarkiet viser de foretrukne mulighetene for håndtering av avfall fra minimalisering av avfall til deponering[24,25,27].

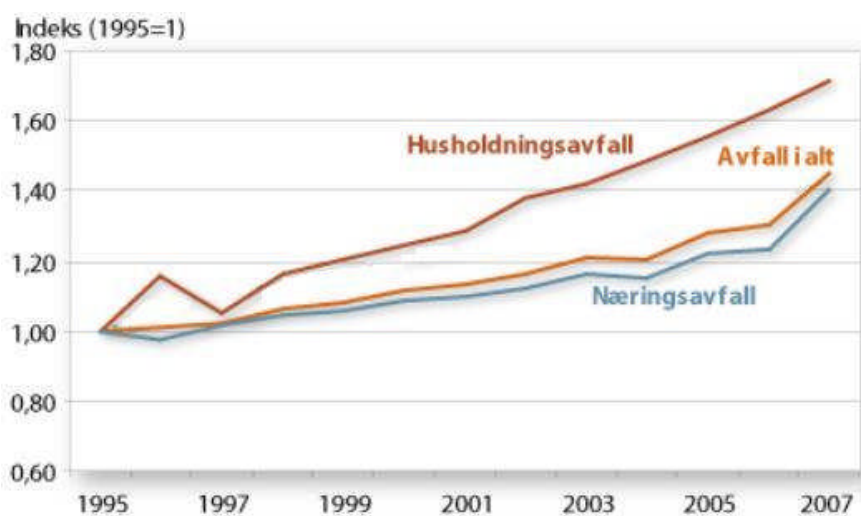


Figur 3.2: Hierarki for håndtering av avfall

I Norge har Miljøverndepartementet innført et deponeringsforbud for nedbrytbart avfall fra og med 1.juli 2009. Bakgrunnen for dette er at avfall som råtner på deponier står for 2,5% av norske klimagassutslipp, hvor dannelse av metan er hovedårsaken. Dette åpner for andre bruksområder for avfall som ellers skulle blitt deponert, særlig med tanke på avfall brukt til generering av energi som ved fjernvarme[29].

Energiinnholdet i avfall kan variere veldig mye grunnet sammensetningen av brennbar materiale. Innhold av matrester, papir, emballasje gjør at sammensetningen på avfallet kan variere mye fra kommune til kommune. En verdi som blir ofte bruk som en gjennomsnittsverdi er 3000 kWh/tonn avfall[14,41].

Ettersom avfall er uunngåelig i et industrialisert samfunn slik som Norge, er avfall til bruk av energiproduksjon sett på som fornybar. Selv om det er stor interesse for og fokus på å gjenvinne så mye av avfallet som mulig, vil det etter all sannsynlighet ikke være mangel på avfall i fremtiden.



Figur 3.3: Utvikling i mengde avfall, 1995-2007.[31]

3.2.3.1 CO₂-utslipp ved forbrenning av avfall

Forbrenning av avfall er i motsetning til biomasse ikke sett på som CO₂ nøytralt. Ettersom komposisjonen av avfall er avgjørende for energiinnholdet, er det også avgjørende for det endelige CO₂ utslippet fra forbrenning. Studier fra International Energy Agency, IEA, har tatt for seg en livsløpsanalyse av avfall og kommet frem til et utslipp på 1100 kg CO₂/tonn avfall. Ettersom utslippene vil variere med komposisjonen, er dette tallet bare veiledende[24,25].

3.3 Forhold som har betydning for primærenergifaktor for fjernvarme

Figur 3.1 viser på en meget enkel måte sammenhengen mellom primærenergi og de energitjenestene vi benytter oss av. I kjelen, vist på figuren, skjer alle nødvendige omforminger og forandringer av primærenergien, for at vi skal kunne benytte oss av energien som sluttbruker. Som nevnt er det flere faktorer som har innvirkning på hvor mye primærenergi som er nødvendig for å levere et gitt behov for energi.

Det er tapene fra primærenergi til sluttbruker som avgjør den endelige primærfaktoren. Disse tapene består i all hovedsak av varmetap for et fjernvarmesystem. Varmetapene som er nevnt i denne delen er uavhengig av brenseltype.

3.3.1 Varmetap fra fjernvarmesystem

For å undersøke varmetap i et fjernvarmesystem, er det nyttig å se på fjernvarmesystemet i to deler; Selve anlegget der forbrenninger foregår, og distribusjonsnettene der varmen fordeles til forbrukere. Dette gir to hovedgrener for varmetap i et fjernvarmesystem:

- Tap ved omforming.
- Tap ved distribusjon.

3.3.1.1 Tap ved omforming

Ved omforming av brensel til varme i et fjernvarmeanlegg er det ikke mulig å utnytte all energien i brenselet. Grunnen til dette er at noe av energien går "bort" i varmetap til omgivelsene. Hvor mye av energien som går tapt kan variere betydelig, men avhenger av utforming, alder og tilstand på forbrenningsutstyret ved hvert enkelt anlegg. For å beskrive dette brukes virkningsgrader. Virkningsgraden for et anlegg defineres som andelen energi som kan nyttiggjøres i forhold til den energimengden som tilføres.

$$\eta = \frac{Q_{nyttig, varme}}{Q_{tilført, varme}} \quad \text{hvor:} \quad \begin{array}{l} Q_{nyttig, varme} = \text{Nyttig energi fra fyrrom} \\ Q_{tilført, varme} = \text{Tilført energi fra brensel til kjel} \end{array}$$

Ligning 3.1: Virkningsgrad

Ved forbrenning i konvensjonelle kjeler finnes det tre tap som vil påvirke fyringsøkonomien: Røykgasstap, Strålingstap og Gjennomstrømningstap

3.3.1.1.1 Røykgasstap

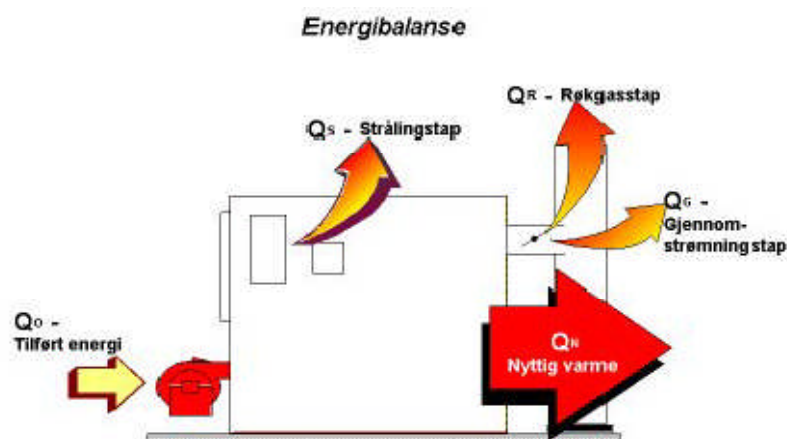
Røykgasstap skyldes at avfallsgasser fra forbrenningen som forlater kjelen holder en høyere temperatur enn omgivelsene. Dette tapet vil variere fra kjel til kjel, men ligger på rundt 5% for "moderne" oljefyrte kjeler (bygd etter 1992).

3.3.1.1.2 Strålingstap

Strålingstap skyldes at kjelmagasinet har en temperatur som ofte ligger høyt over romtemperaturen og at kjelen har en begrenset varmeisolering. Dette vil si at kjelen avgir varme til fyrrommet den står i. Strålingstapet fra kjelen utgjør normalt 1-3 % av kjelens effekt kapasitet så lenge kjelmagasinet er varmt. Tapet fra kjelen avgjøres av hvor godt kjelen er isolert og hvor høy temperatur kjelmagasinet har. For lavtemperaturkjeler som er godt isolert kan strålingstapet vært så lavt som 0,2% av kjelens kapasitet.

3.3.1.1.3 Gjennomstrømningstap

Gjennomstrømningstap oppstår når luft strømmer igjennom brenner, brennkammer og røykkanaler når brenneren ikke er i drift. Varmetapet avhenger av kjelens konstruksjon og utformingen av luftspjeldet som gir oksygen til forbrenningen. Tapet varierer normalt fra 0 – 4 %, men for nyere kjeler er tapet så lite at det i mange tilfeller kan neglisjeres[32].



Figur 3.4: Energibalanse i kjel.[32]

3.3.1.2 Tap ved distribusjon

Varmetapet ved distribusjon omfatter tapet i rørrnett som leverer varmen fra fjernvarmesentralen, samt eventuelt varmetap hos forbruker. Det er i distribusjonsnettet det største varmetapet i et fjernvarmesystem ligger.

Varmetap i rørrnett kommer av flere faktorer. Avhengig av midlere distribusjonstemperatur, rørens isolasjonsstandard og klima vil varmetapet til omgivelsene utgjøre ca. 5 – 15 %.

Statistikk fra fjernvarmeproduksjon i Norge viser at det gjennomsnittlige varmetapet i fordelingsnett de siste 10 årene ligger på ca. 8,9 % [32,33].

Fjernvarmebalanse. 1998-2007. GWh

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Nettoproduksjon av fjernvarme	1 514,8	1 651,1	1 604,7	1 995,9	2 121,2	2 269,1	2 439,5	2 562,3	2 745,4	3 065,7
Tap i fordelingsnett	138,0	143,0	148,6	180,8	189,3	183,0	209,3	212,4	250,9	308,1

Figur 1.2: Tap i fordelingsnett, 1998 – 2007.[33]

Deponeringsforbudet for nedbrytbart avfall i Norge fra og med 1. juli 2009 har utvilsomt satt fart i arbeidet med etablering av fjernvarmeanlegg basert på avfall rundt om i landet. Fra gamle løsninger med fjernvarme basert på olje og gass, vil fornybar fjernvarme, i hovedsak basert på avfall og biomasse, etter alt å dømme overta. Kommunale/interkommunale avfallsanlegg blir knyttet opp som leverandører av avfall til fjernvarmeanleggene, og kommunene slipper å avsette stadig nye arealer til avfallsdeponier med utgifter som overveltes innbyggerne. Slik sett blir fornybar fjernvarme en vinn-vinn situasjon for samfunnet og husholdningene, dersom anleggene og distribusjonsnettet hensyntar de forhold som berørt ovenfor.

4 Muligheter for utnytting av fornybar fjernvarme i tiden fremover

I denne oppgaven er det satt fokus på bruk av fornybare ressurser som energibærere til varmegenerering hvor biobrensler og avfall er de energikildene som er mest relevante. For å estimere de faktiske mulighetene for bruk av fornybar energi til fjernvarme i tiden fremover, må først det teoretiske potensialet klarlegges. Ut i fra det teoretiske grunnlaget kan det faktiske grunnlaget kartlegges i forhold til faktorer og kriterier som virker for eller imot det teoretiske.

4.1 Teoretisk potensial for fjernvarme i tiden fremover

For å danne seg en oversikt over de teoretiske mulighetene for utbygging av fjernvarme er det nødvendig å se på det tekniske potensialet som ligger til grunn. Ved å kartlegge den teoretiske energimengden tilgjengelig for bruk til varmegenerering kan potensialet klarlegges.

4.1.1 Teknisk potensial for avfall som bruk av energikilde

Tall fra 2006 viser at nordmenn produserer omlag 4 millioner tonn nedbrytbart avfall hvert år. Av dette havner rundt 1 million tonn på kommunale avfallsplasser som restavfall.

Når deponiforbudet trer i kraft 1.juli 2009, vil alt avfallet knyttet til deponier måtte tas hånd om på andre måter. Som nevnt vil dette øke etterspørselen etter og behovet for forbrenningsanlegg som kan håndtere mengden avfall grunnet forbudet. I 2001 ble det ved energigjenvinning av avfall produsert 800 GWh, dette da ikke bare til fjernvarme.

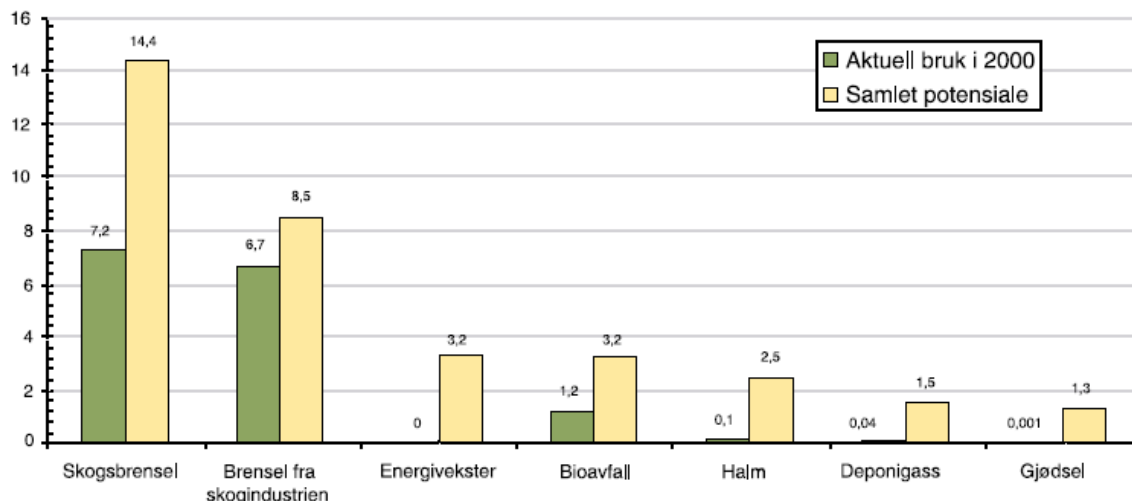
Det tekniske grunnlaget for bruk av avfall som energikilde er kun basert på mengden energi tilgjengelig for energigjenvinning. Ved bruk av det gjennomsnittlige energiinnholdet for avfall, gitt i del 3.2.3, gir dette et potensial på omlag 3 TWh med tall brukt fra 2006.

Som figur 3.3 viser har økningen i mengde avfall vært betydelig de siste årene. Dette har sammenheng med den økonomiske veksten og økningen i BNP i Norge. Dette tatt i betraktning, er energiinnholdet for avfall som er tilgjengelig til varmegenerering estimert av Enova til å ligge rundt 3-6 TWh. Anslaget er relativt bredt, grunnet usikkerhet i komposisjonen av avfallet [34,35,36].

4.1.2 Teknisk potensial for biomasse som bruk av energikilde

Som for avfall er det tekniske potensialet for bruk av biomasse basert på hvor mye som er teoretisk tilgjengelig. Det årlige norske forbruk av bioenergi var i 2003 på omlag 15 TWh. Dette tallet inkluderer all bruk av bioenergi. Ettersom bruken av bioenergi i Norge bør være fornybar (definert i del 3.2.2), er det tekniske potensialet ikke definert som bruk av alt biomaterialet i Norge, inkludert alle skogområder. Potensialet for bruk av bioenergi er knyttet til det teoretiske potensialet for uttak som da gjelder bruk av avfall fra skogindustrien, skogsbrensel, halm, gjødsel m.m.

Figur 4.1 viser aktuell bruk av ulike biobrenslar til generering av bioenergi, samt det teoretiske potensialet. Det totale teoretiske potensialet er estimert til omlag 35 TWh. Som det fremgår av figuren er det et stort potensial for utnyttelse av skogsbrensel og brensel fra skogindustrien. Dette er antatt til å være på ca 14 TWh til sammen. Det er også et merkbart potensial fra bioavfall.



Figur 4.1: Brutto bioenergiproduksjon og teoretisk potensial for økt bruk av biobrensel

Ved å legge sammen energikildene vurdert som fornybare i denne oppgaven gir det et teoretisk potensial for fornybar fjernvarme på 38-41 TWh. Dette tallet må sees på som primærenergi og ikke som mulig energi levert hos sluttbruker. Til sammenligning var netto fjernvarmeproduksjon på omlag 3 TWh i 2007, hvorav 1,2 TWh var avfallsbasert og 0,4 TWh var biobrenselbasert. [14]

Energibruk til oppvarming av bygninger i Norge er 47,5 TWh, hvorav 33 TWh er elektrisk energi. Ved å anta et potensial på 38 TWh for fornybar fjernvarme, må den teoretiske primærenergifaktoren for bruk av fornybar fjernvarme der elektrisitet er brukt i dag være under 1,152. Dette vil si at energitapet fra primærenergi til sluttbruker ikke kan være større enn 15 %.

4.2 Faktiske muligheter

Det er ikke rimelig å anta at all brutto vekst i energitilgang og - etterspørsel gir et uttrykk for mulig faktisk utnyttning av energien til fjernvarmebruk. En rekke kriterier for bruk av energien til fjernvarme er knyttet opp mot det faktiske potensialet.

4.2.1 Bosetningsmønster

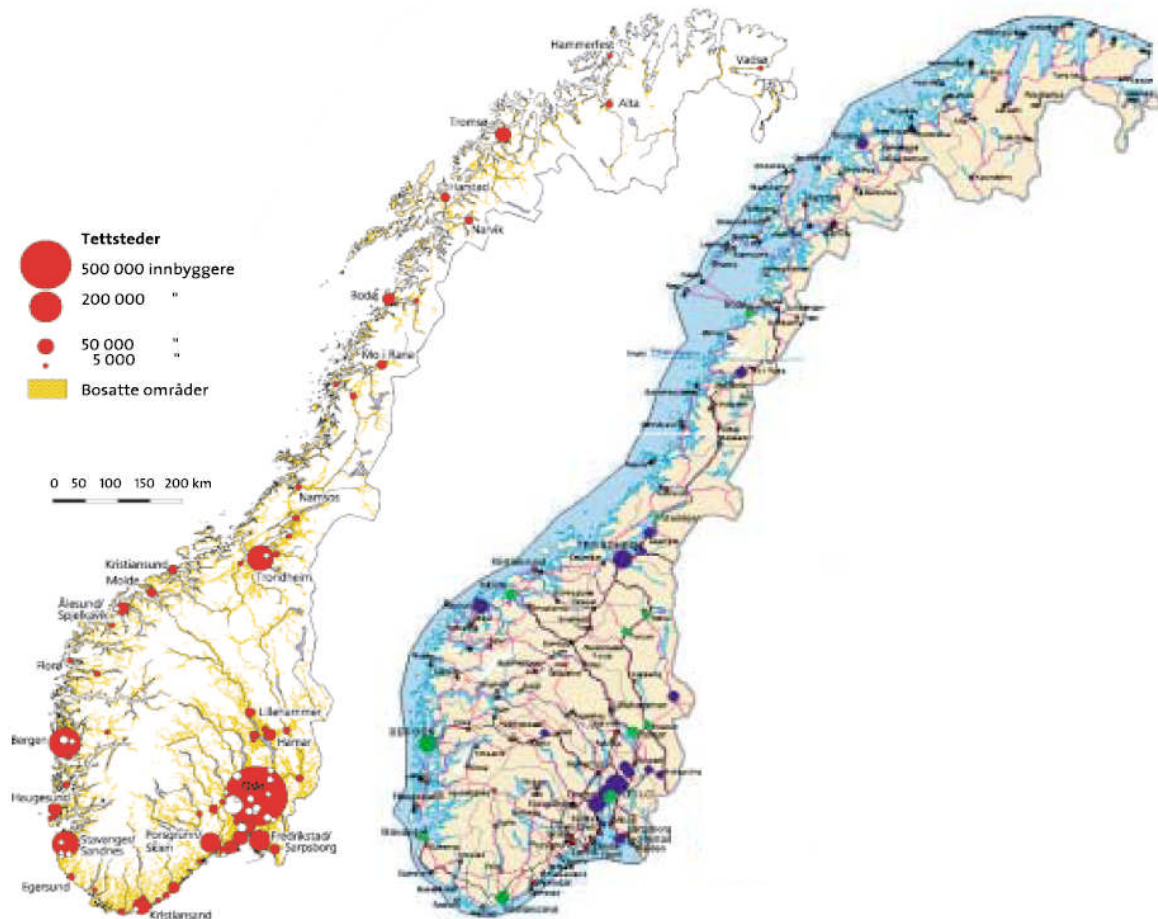
Norge skiller seg ut fra de fleste land i Europa når det gjelder bosetningsforhold og - mønster. Norge er mindre tettbebygd, og kun en liten andel av befolkningen bor i blokker. På grunn av bosetningsmønsteret er derfor det økonomiske potensialet for fjernvarme annerledes i Norge sammenlignet med Sverige og Danmark. Ettersom distribusjonssystemet for fjernvarme utgjør en relativt stor andel av de totale kostnadene ved utbygging av et fjernvarmesystem, er lønnsomheten i stor grad knyttet til linjetettheten. Linjetettheten beskriver varmebehovet per meter rørledning. Tabell 4.1 viser bosetningsmønstre i de ulike fylkene i Norge. Det fleste av landets rekkehus og boligblokker befinner seg i tettbebygde strøk.

Antall boliger i alt	Bygningstype							
	I alt	Enebolig	Tomannsbolig	Rekkehus, kjedehus og andre småhus	Boligblokk	Bygning for bofellesskap	Andre bygningstyper	
<i>Prosent</i>								
Hele landet	2 274 362	78,0	62,8	86,7	97	99	91,5	87,6
Østfold	122 513	84,1	74,5	92,7	97,8	99,4	97,6	89,1
Akershus	218 577	88,2	79,2	93,9	98,3	98,8	95,4	92,1
Oslo	300 026	99,8	98,3	99,7	99,8	100,0	100,0	99,7
Hedmark	96 051	53,7	41,3	73,5	93,3	97,8	71,2	76,5
Oppland	91 971	54,4	44,1	67,6	91,5	98,7	80,9	79,3
Buskerud	119 302	77,8	66,4	88	96,9	98,8	96,1	90,2
Vestfold	103 720	84,7	76,9	90,7	97,6	96,9	99,5	94,4
Telemark	81 652	74,3	64,3	87,5	95,8	98,7	96	88,1
Aust-Agder	50 069	67,9	62,1	79,1	94,8	95,9	73	85
Vest-Agder	75 623	78,6	66,4	92,8	97,4	99,3	91,8	90,5
Rogaland	182 898	84,5	76,9	93,8	98,1	97	96,7	93
Hordaland	220 083	79,5	62,7	85,8	97,7	99,1	94,3	86
Sogn og Fjordane	52 751	54,3	45	67,8	92,9	92,1	89,5	67,4
Møre og Romsdal	118 738	68,5	56,9	75,4	95	98,8	89,2	89,9
Sør-Trøndelag	142 556	77,9	58	80,6	97,2	99,1	93,8	85,7
Nord-Trøndelag	61 014	56,6	46,8	55,3	94,3	95,2	93,3	78,7
Nordland	118 785	65,5	52,6	87,5	95,4	97,8	80,1	84,8
Troms	79 444	64,7	50,2	87,3	94,2	93,9	93,8	81
Finnmark	37 392	71,4	62,6	86,9	92,2	88,8	80,1	76,1

Tabell 4.1: Andel boliger i tettbebygde område, etter bygningstype og fylke . [14]

Fjernvarmeutbyggingen i Norge gjenspeiler i stor grad bosetningsmønsteret. Ettersom linjetettheten i stor grad avgjør det økonomiske grunnlaget for utbygging av fjernvarme, har det vært lite utbygging utenfor tettbebygde strøk. Per 2003 var det registrert fjernvarmanlegg i samtlige norske byer med mer enn 100 000 innbyggere, 10 av 15 byer med mellom 20 000 og

100 000 innbyggere, 16 av 70 byer med mellom 5000 og 20 000 innbyggere og bare i 3 av 118 større tettsteder mellom 2000 og 5000 innbyggere. Figur 4.2 viser den geografiske sammenhengen mellom bosetningsmønstre og utbygd fjernvarme.



Figur 4.2: Geografisk sammenheng mellom bosetningsmønstre og fjernvarmeutbygging. [35]

4.2.3 Kostnader for sluttbruker

For at utvikling av mer fjernvarme skal være mulig, er det avgjørende at også økonomien for sluttbruker er ivaretatt. Ettersom investeringskostnadene for sluttbruker er relativt mye større ved installasjon av et vannbårent system enn av utstyr for elektrisk oppvarming, vil dette være bestemmende for den samfunnsøkonomiske innvirkning på utbygging av fjernvarme i fremtiden. Investeringskostnader for installasjon av vannbåren varme i eksisterende bygg varierer mellom 400-600 kr/m². Prisen avhenger av byggtipe og hvilke typer systemer som

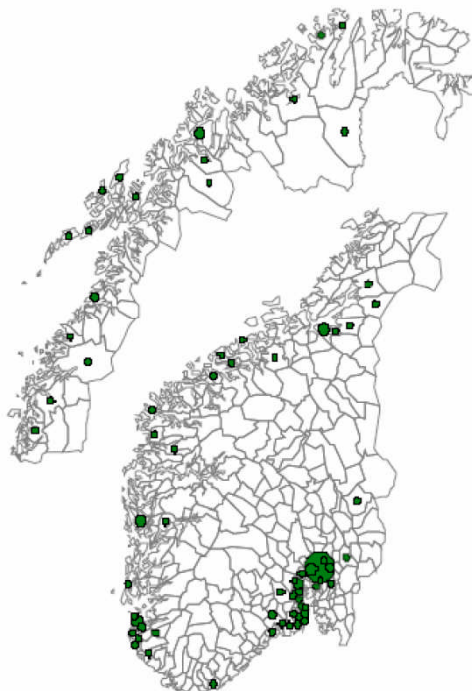
velges. Til sammenligning ligger prisen på installasjon av panelovner til elektrisk oppvarming mellom 80-200 kr/m².

Oppvarmingssystem	Kostnad kr/m ²					
	Småhus		Blokk		Næringsbygg	
	Ny	Rehab.	Ny	Rehab.	Ny	Rehab.
Panelovn m/termostat	110-150	140-190	90-130	120-160	60-80	80-100
Panelovn m/sentr.reg	160-200	190-230	140-180	170-210	90-110	120-140
Gulvvarme, elektrisitet	400-500	500-1000	500-600	800-1000	500-600	800-1000
Radiator / konvektor	200-400	250-450	160-300	210-350	120-200	170-250
Gulvvarme, vannbasert	200-370	430-550	300-420	480-600	300-420	480-600
Ventilasjonsoppvarming - elektrisitet	-	-	-	-	60-80	80-100
Ventilasjonsoppv.- vannbasert	-	-	-	-	55-70	75-90
Tappevannsberedning - el	35-45	35-45	40-55	60-75	15-20	25-30

Tabell 4.2: Investeringskostnader for ulike typer varmedistribusjonsanlegg. [47]

Analyser utført av Xrgia viser en oversikt over hvilke norske kommuner det vil være lønnsomt å bygget ut et fjernvarmeanlegg i. Disse analysene har lagt til grunn at det ikke gis offentlig stønad til utbygging. Lønnsomheten er vurdert ut i fra kostnadene for kundene, og betraktes som lønnsom dersom kostnadene ved bruk av fjernvarme ved oppvarming er lavere enn alternativkostnadene. [48]

Figur 4.3 viser en oversikt over områdene i landet det er lønnsomt å bygge ut fjernvarme. I alt er det 62 kommuner der fjernvarme er lønnsomt. I denne analysen er det hovedsaklig brukt biomasse som brenselgrunnlag for fjernvarmeanleggene. Analysen inkluderer ikke bruk av avfall som brensel.



Figur 4.3: Kommuner der det er lønnsomt å etablere fjernvarme. [48]

4.3.4 Politiske føringer

Mulig utbygging av fornybar fjernvarme frem mot 2020 avhenger sterkt av politisk vilje til å påvirke behov for levert varme gjennom forskrifter og energiltak. Som vist i del 2 vil oppvarmingsbehovet for bygninger bli drastisk redusert hvis tiltak foreslått i "TEK20" blir implementert. Energimerket, som er planlagt å tre i kraft fra 2010, vil gi en pekepinn på retningen den norske energipolitikken vil ta i tiden fremover. Hvilke konsekvenser en slik merking av bygg vil få for fjernvarme er usikkert, ettersom den ikke er ferdig utviklet enda. Dette gjelder særlig med tanke på den delen av Energimerket som gjelder oppvarming. Hvordan de forskjellige oppvarmingsalternativene vektas, og hva som blir definert som fornybare ressurser, vil være en vesentlig faktor for fremtidig nivå for bruk av fjernvarme.

En annen viktig faktor for utviklingen av fjernvarme i tiden frem mot 2020 vil være hvilke støtteordninger eller andre politiske insentiver som myndighetene bestemmer seg for. Selv om Enova i dag gir støtte til mange fjernvarmeprosjekter, vil en økning av denne satsningen være avgjørende for fortsatt satsing på utbygging i fremtiden.

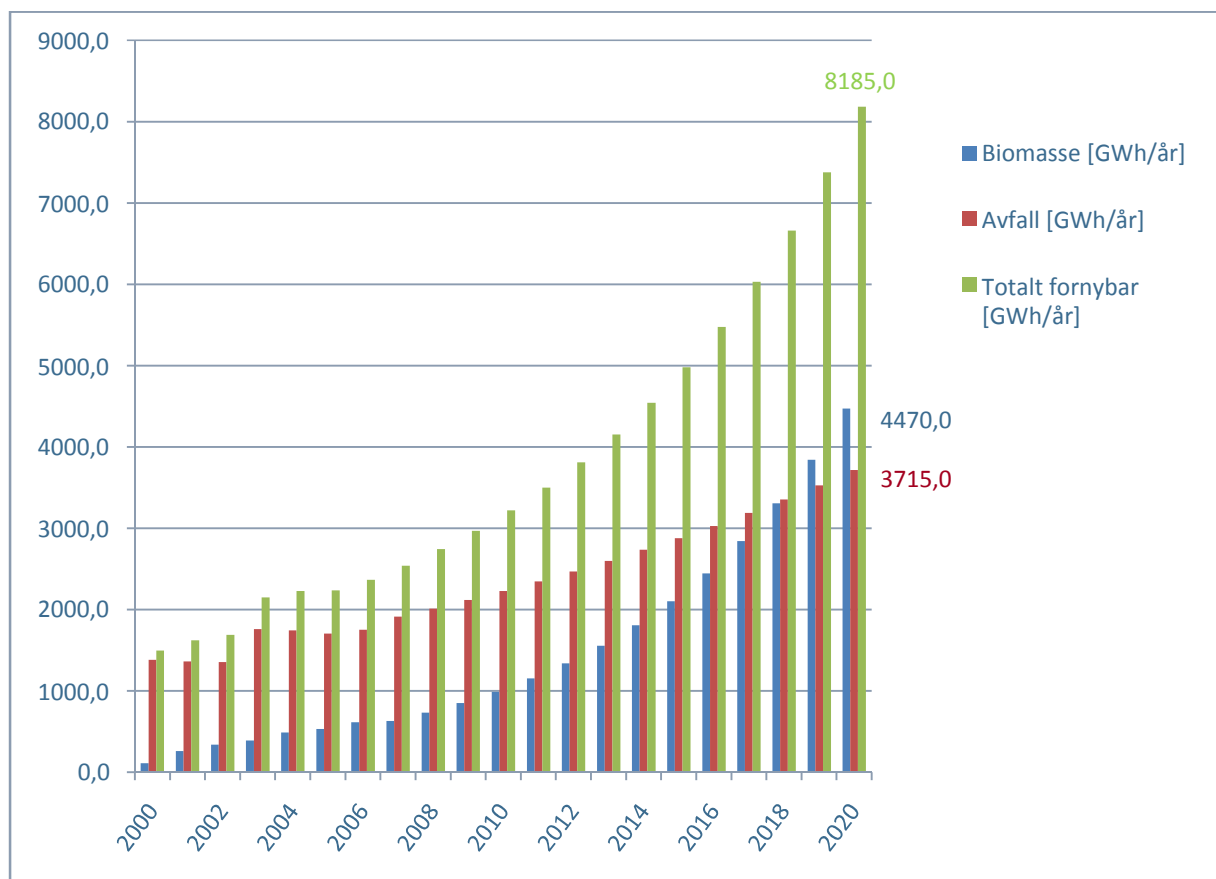
Eksempelvis har fjernvarmeanlegget Trehørningen (omtalt i del 5) bare mottatt en liten støtteandel fra Enova til utbygging av anlegget. Beløpet som er innvilget fra Enova utgjør kun ca. 4,4 % av den totale investeringskostnaden.

Eventuelle støtteordninger for forbrukere vil også kunne påvirke etterspørselen etter fjernvarme. Som nevnt er investeringskostnaden for varmedistribusjonsanlegg over dobbelt så høy som for elektrisk oppvarming. Slike ordninger kan tenkes både fra kommuner og fra statlige myndigheter.

4.3.5 Faktisk mulighet for fornybar fjernvarme

Mulig del utnyttet av det teoretisk potensialet beregnet i del 4.1 er relativt lav. Dette er hovedsaklig grunnet bosetningsmønsteret i Norge. Xregia har i sitt potensialstudie estimert en økning av fjernvarme i Norge, hovedsaklig basert på biobrensler, til kun 1,7 TWh frem mot 2020. Undersøkelsene inneholder også bruk av Lokale varmesentraler (LVS), som sammen med fjernvarme har et potensial på 7,5 TWh. Grunnen til at økning er mye større for LVS er at de mer egnet for det norske bosetningsmønsteret.

Det er også mulig å se på den historiske utviklingen for fornybar fjernvarme de siste årene, og på det grunnlaget estimere et faktisk forbruk i tiden fremover. Ved å bruke gjennomsnittsovergangen i bruken av avfall og biomasse som brensel ved fjernvarmeanlegg er fremtidig energibruk beregnet. Figur 4.4 viser den estimerte økningen i energibruk. Her er energibruken av avfall og biomasse estimert til ca 8,2 TWh totalt i 2020. Det er verdt å legge merke til at energiproduksjonen av fjernvarme med bioenergi passerer bruken av avfallsenergi rundt 2018.



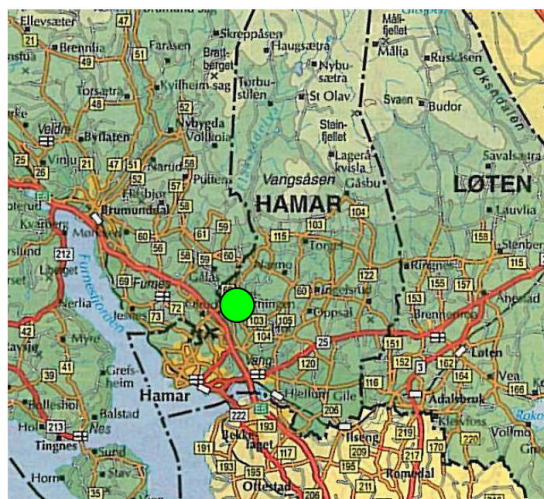
Figur 4.4: Historisk estimert bruk av brensler ved fornybar fjernvarme [48]

5 Økonomiske konsekvenser ved utbygging av fjernvarme mot 2020

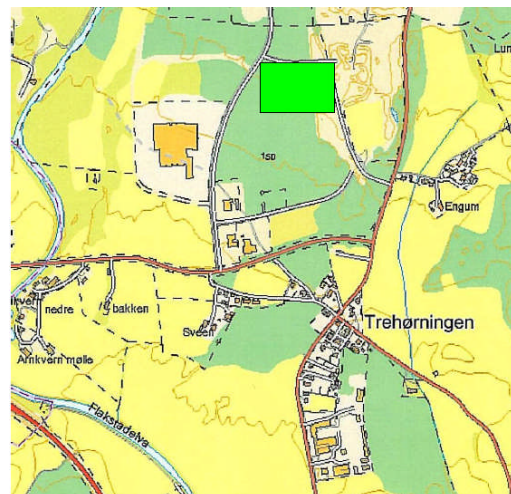
Denne delen av oppgaven skal omhandle de økonomiske forskjellene ved utbygging av fjernvarme med tanke på dagens behov for levert varme sett i forhold til behovet frem mot år 2020. Det er i denne delen valgt å bruke et faktisk planlagt anlegg som bakgrunn. Eidsiva Bioenergi er i gang med grunnarbeidet til det nye avfallsforbrenningsanlegget på Trehørningen industriområde i Hamar, som skal gjenvinne restavfall fra bl.a. husholdninger i kommunene Elverum, Trysil, Åmot, Hamar, Stange, Ringsaker, Løten, Gausdal, Lillehammer og Øyer. Anlegget skal være ferdig i november 2011, og produsere elektrisitet, damp til industrien og varme til fjernvarmenettet. Det tilhørende fjernvarmenettet er planlagt utbygd i perioden 2009-2012. Kapasiteten på anlegget er beregnet til å ligge rundt 72000 tonn avfall per år.

5.1 Avfallsforbrenningsanlegget på Trehørningen

Tiltakshaver for anlegget er Hamar-Regionen Fjernvarme AS som i juli 2005 utarbeidet melding med forslag til utredningsprogram for tiltaket. Anlegget som bygges på næringsområdet Trehørningen i Hamar skal forsyne Norsk Protein med damp, husholdninger og næringsbygg med fjernvarme samt produsere elektrisitet som skal selges eksternt. Nærmeste bolig som det er mulig å levere fjernvarme til ligger 300 m fra anlegget i syd-østlig retning.



Figur 5.1: Oversiktskart over Hamar regionen med plassering av forbrenningsanlegget [39].



Figur 5.2: Oversiktskart over Trehørningen med forbrenningsanlegg[39].

5.1.2 Avfallsgrunnlag

Tilgangen på avfall til forbrenningsanlegget er avhengig av at det inngås langsiktige avtaler med flere aktører. Disse leverandørene er inndelt i to grupper:

- Anleggets nærområde (regioner i fylkene Hedmark og Oppland)
- Landet for øvrig

Ettersom det er et fritt marked for avsetning av avfall, vil anlegget møte konkurranse fra både norske og svenske forbrenningsanlegg. Det er allerede i dag stor eksport av avfall til Sverige grunnet billigere avsetningsavgift og større behov. Denne avgiften vil i løpet av 2010 bortfalle helt, noe som fører til at konkurransekraften til norske anlegg, deriblant Trehørningen, vil svekkes ytterligere [38].

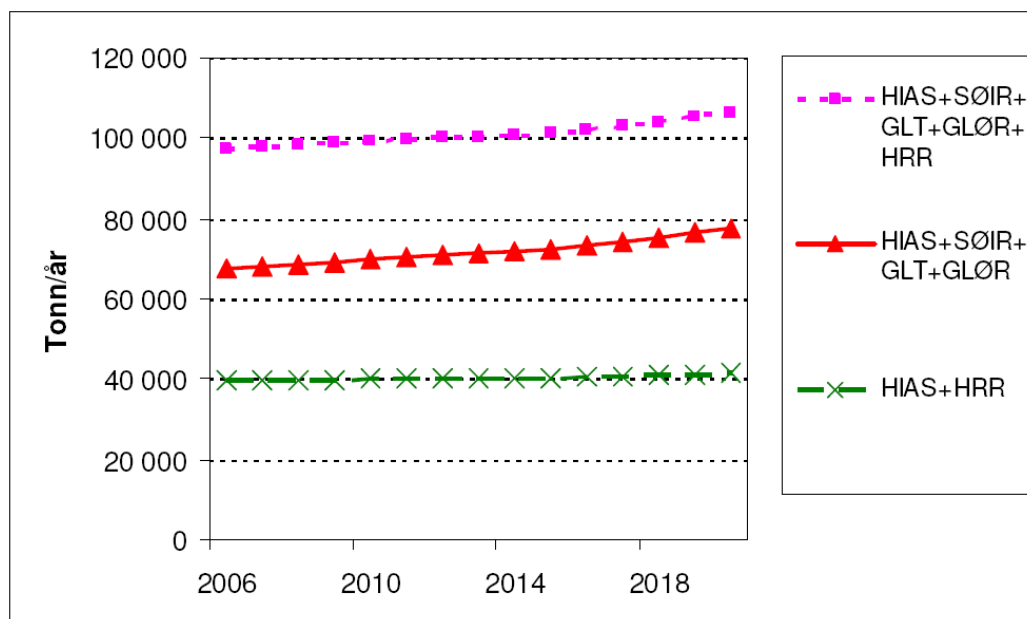
Avfallsleveranser fra Hedmark og Oppland er det mest sannsynlige også med tanke på fremtiden. Særlig på grunn av kortere transportavstand, men også fordi et nærliggende anlegg kan gi større langsiktig trygghet for avsetning og stabile prisforhold. I hvilken grad Trehørningen vil motta avfall fra andre deler av landet avhenger av kapasiteten på andre anlegg i Norge og/eller at logistiske forhold fører til lavere transportkostnader ved levering til Trehørningen.

I skisseprosjektet for dette anlegget ble det gjort anslag for avfallmengder fra ulike selskap i Hedmark og Oppland. Regionene hvor anslaget er blitt utført dekker omlag 280 000 innbyggere.

Selskap	Husholdn.-avfall	Næringsavfall	Sum	Akkumulert	Avstand Hamar
HIAS	9 394	9 052	18 446	18 446	0
SØIR	5 800	1 000	6 800	25 246	32 km
GLT-Avfall	11 489	17 572	29 062	54 307	55 km
GLØR	6 728	6 001	12 730	67 037	60 km
HRR		30 000	30 000	97 037	0
SOR	2 500	2 000	4 500	101 537	74 km
MGR	941	779	1 721	103 257	142 km
NGR	3 739	3 739	7 478	110 735	171 km
VKR (Valdres)	3 968	2 164	6 132	116 867	143 km

Tabell 5.1: Anslag for avfallsmengder fra Hedmark og Oppland i 2005 (tonn/år) [39] .

En del av avfallet vil inneholde grovere, ikke brennbare bestander, som vil bli utsortert før forbrenning. Det er estimert at "forbrenningsegnet" avfall blir anslagsvis 90 -95 % av akkumulert mengde, som tilsvarer 105 000 - 110 000 tonn/år. Prognosen for restavfall fra husholdninger og næringsliv frem mot 2020 viser en merkbar økning i avfallsmengde i tiden fremover. Dette særlig i områder innen en times kjøring fra anlegget (innenfor 60 km).



Figur 5.3: Prognose for restavfall fra husholdninger of næringsliv[39].

5.1.3 Brensel/Produksjon

Det økonomiske grunnlaget for bygging av forbrenningsanlegget er tilgangen på nok avfall. Dette gjør at anlegget vil kunne levere nødvendig energimengde til planlagte områder.

Energimengden det er mulig å produsere avhenger i hovedsak av to faktorer ved et avfallsforbrenningsanlegg:

- Energiinnhold i avfallet
- Virkningsgrad for systemet

5.1.3.1 Energiinnhold

Energiinnholdet i avfallet avhenger av komposisjonen av det. Avfall Norge utga i 2006 en rapport der avfall til norske avfallsforbrenningsanlegg ble kartlagt. Denne rapporten deler avfall inn i følgende kategorier:

- Restavfall fra husholdninger, samlet inn ved ordinær renovasjon (H1)
- Brennbar rest fra kommunale gjenvinningsstasjoner (H2)
- Sortert næringsavfall (N1)
- Usortert næringsavfall (N2)

Sammensetningen av avfall som kommer til Trehørningen er vurdert ut i fra ulike plukkanalyser gjort hos mulige leverandører.

	Hush- avfall (H1)	Gjenv. stasjoner (H2)	Sort. næring (N1)	Usort. næring (N2)	Gj.snitt
Papir/papp	16,0 %	29,4 %	28,5 %	23,0 %	23,3 %
Våtorganisk avfall	22,0 %	2,0 %	7,9 %	39,6 %	14,5 %
Plast	15,5 %	10,9 %	21,5 %	17,9 %	17,9 %
Tekstiler	6,0 %	26,9 %	9,5 %	1,0 %	9,4 %
Treverk	0,4 %	18,8 %	18,1 %	2,9 %	10,3 %
Bleier, bind	5,0 %	0,1 %	0,4 %	0,8 %	2,2 %
Annet brennbar	15,0 %	6,2 %	4,8 %	3,1 %	8,9 %
Metall	3,0 %	3,0 %	3,0 %	5,5 %	3,1 %
Glass	3,5 %	1,4 %	2,5 %	3,3 %	2,8 %
Annet ikke brenn- bart	13,6 %	1,3 %	3,8 %	2,9 %	7,4 %
Totalt	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %
Fordeling	40 %	10 %	45 %	5 %	100 %

Tabell 5.2: Sammensetning av brensel til anlegget. [39]

Den forventede sammensetningen av brenselet karakteriseres som relativt tørr. Dette er på grunn av at avfallet fra husholdningen er kildesortert og at avfallet som forventes levert inneholder en relativt stor andel sortert næringsavfall (N1) [39].

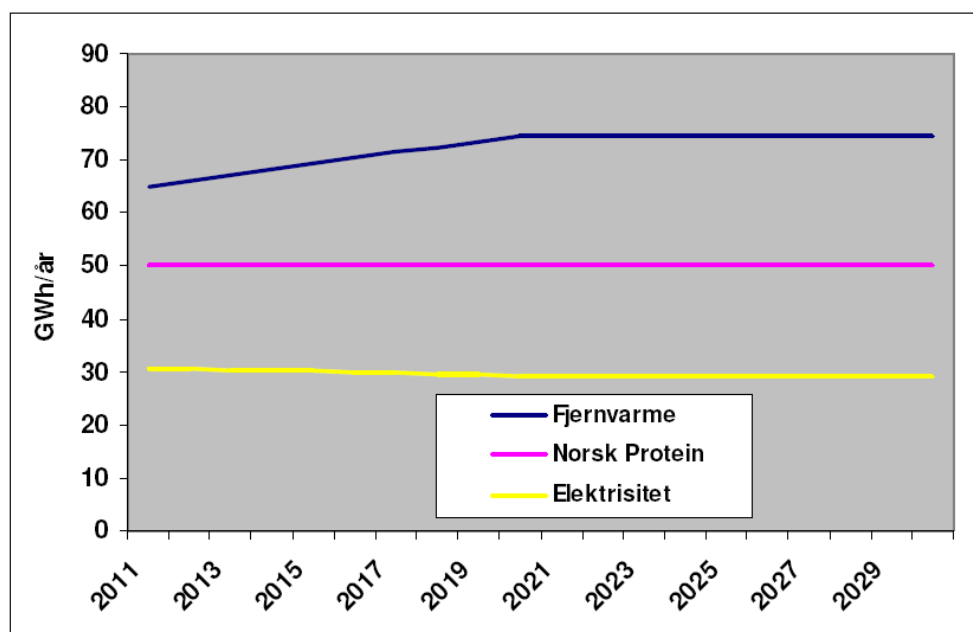
Ut ifra sammensetningen på avfallet er brennverdien estimert til 3056 kWh/år [39, 40]. Forøvrig stemmer dette med energiinnholdet oppgitt i del 3.2.3.

5.1.3.2 Utnyttning av energiinnhold

Som vist i del 3.3 er det flere forhold som avgjør virkningsgraden til et forbrenningsanlegg. Sentrale myndigheter har pålagt avfallsforbrenningsanlegg et minstekrav på 50 % energiutnyttelse. Dette vil si en virkningsgrad for systemet på minst 0,5.

Utnyttelsen av energi ved Trehørningen skjer i et tredelt scenario; levering av damp til Norsk Protein, fjernvarme, og produksjon av elektrisitet:

- Det er inngått en intensjonsavtale med Norsk Protein om å levere 50 GWh/år til deres produksjonsanlegg.
- Levering av varme til planlagt fjernvarmenett. Antatt levering er 65GWh/år i 2011 som øker til 75 GWh/år i 2020
- Strømproduksjonen justeres etter fjernvarmebehovet. Antatt produksjon er 31 GWh/år i 2011 som er tenkt redusert til 29 GWh/år i 2020.



Figur 5.4: Utvikling av energiavsetning fra Trehørningen avfallsforbrenningsanlegg [39].

Dette gir en samlet produksjon på ca 145-155 GWh/år, som gir en energiutnyttelsesgrad på mellom 66 og 70 % for perioden 2011 til 2020 [39].

5.1.4 Utslipp

Utslipp av røykgass ved avfallsforbrenning fører også med seg økonomiske konsekvenser. Det finnes ulike avgiftssatser for ulike komponenter i røykgassen gitt av Miljødepartementet. Avgiften avhenger av hvor miljøskadelig stoffet er vurdert som. For forbrenning av avfall gjelder følgende avgifter:

Støv	HF	HCl	NO _x	SO ₂	Hg	Cd
kr 0,657 per gram	kr 23,23 per gram	kr 0,116 per gram	kr 0,0171 per gram	kr 0,0194 per gram	kr 31,43 per gram	kr 60,47 per gram
Pb	Cr	CuI	Mn	As ₂	Ni	Dioksiner
kr 72,20 per gram	kr 42,35 per gram	kr 0,350 per gram	kr 108,19 per gram	kr 11,06 per gram	kr 10,59 per gram	kr 2 676 300 per gram

Tabell 5.3: Avgifter ved utslipp ved avfallsforbrenning

CO₂ avgift for avfallsforbrenning er basert på antall tonn avfall som blir innlevert til forbrenningsanlegget. Avgiften har ikke økt merkbart de siste årene, og er i skrivende stund på 62,35 kr per innlevert tonn avfall.

Antatt utslipp fra beregnet ut i fra krav i Avfallsforskriften [39,43].

Parameter	Utslipp [kg/år]	Kostnad [kr/år]	Kostnad relatert til varmeproduksjon [kr/år]
Totalt Støv	1008	662256	331128
Hydrogenklorid (HCl)	504	58464	29232
Hydrogenfluorid (HF)	50	116150	58075
Svoveldioksid (SO₂)	12600	244440	122220
NO_x	75600	1292760	646380
Kadmium (Cd)	4,98	301140,6	150570,3
Kvikksølv (Hg)	5,04	158407,2	79203,6
Nikkel (Ni)	20,1	212859	106429,5
Bly (Pb)	9,9	714780	357390
Krom (Cr)	1,3	55055	27527,5
Mangan (Mn)	3,1	335389	167694,5
Dikosiner	0,0025	6690750	3345375
CO₂		4984560	2492280
Totalkostnad		15827010,8	7913595,4

Tabell 5.4: Kostnader ved utslipp av miljøskadelige komponenter.

Ettersom produksjon av varmeenergi ved avfallforbrenningsanlegget står for omlag 50 % av energiproduksjonen er det rimelig å anta at kostnadene for utslipp relatert til fjernvarmeproduksjon også vil være 50 % av totale utslippskostnader. Med avgiftsatser for 2009 og antatt utslipp, gir dette en kostnad på omlag 7,9 millioner kroner.

5.2 Levert varmeenergi fra Trehørningen ved bruk av "TEK20"

Ved å anta at varmeproduksjonen fra Trehørningen er estimert ut i fra oppvarmingsbehovet beregnet etter dagens krav for bygninger, kan en sammenligning gjøres ved hjelp av de fiktive forskriftene, "TEK20" definert i del 2.2. Ettersom utbygging av fjernvarmenettet fra forbrenningsanlegget skal utvides fra 2009 til 2012, er varmetapet i det planlagte nettet vanskelig å anslå. Dette er derfor satt til 9 %, som er det norske gjennomsnittet[33,39,40].

Området rundt forbrenningsanlegget som fjernvarmenettet skal utbygges i antas å bestå av 90 % småhus og 10 % kontorbygg. Dette er gjort på bakgrunn av bygningsmassen som ligger i en omkrets rundt anlegget. Aktuelle boligområder som kan bli forsynt av fjernvarme er Kåtorp og Krokstad. Disse er mest aktuelle grunnet avstand til forbrenningsanlegget. Varmetap og investeringskostnader per meter rør er vesentlige for fjernvarme, slik at avstand til nærmeste abonnentfelt bør være minst mulig[44].

Beregninger for et typisk småhus er gjort på samme måte som for næringsbygg, se vedlegg.

Bygning	Spesifikt oppvarmingsbehov [kWh/m ² år]	
	TEK07	"TEK20"
Småhus	66,0	53,9
Kontorbygg	40,5	22,2
Gjennomsnittsbygning (90 % småhus, 10 % Kontorbygg)	63,5	50,7

Tabell 5.5: Spesifikt oppvarmingsbehov for småhus og kontorbygg, TEK07, "TEK20"

Dette gir et grunnlag for en sammenligning av levert varme med dagens behov i forhold til behov for levert varme for samme området i 2020.

Det er antatt at varmebehovet vil være på 65 GWh når fjernvarmenettet er ferdigstilt. Dette antas å øke til 75 GWh i 2020 (figur 5.4). Ved å anta at varmeproduksjonen er estimert ut i fra dagens energikrav for bygninger, kan forventet økning i oppvarmet areal beregnes.

År	Antatt levert varme, inkl tap ved distribusjon [GWh/år]	Oppvarmet areal [m ²]
2011 (ved ferdigstilling)	59,15	931496
2020	68,25	1074803

Tabell 5.6: Oppvarmet areal ved dagens energikrav

Ved å bruke oppvarmet areal beregnet for 2020 kan antatt behov for levert varme i 2020 beregnes ut i fra krav fra "TEK20".

	Antatt levert varme, inkl tap ved distribusjon [GWh/år]
Levert varme i 2020, TEK07	68,25
Levert varme i 2020, "TEK20"	54,49

Tabell 5.7: Antatt levert varme fra Trehørningen, "TEK20"

Beregningene for behovet for varme i 2020 med "TEK20" som grunnlag viser at det er en betydelig nedgang i forhold til det som først var antatt. Et levert varmebehov på 54,5 GWh i 2020, er en nedgang på 20,2 % fra antagelsene gjort ved bruk av TEK07.

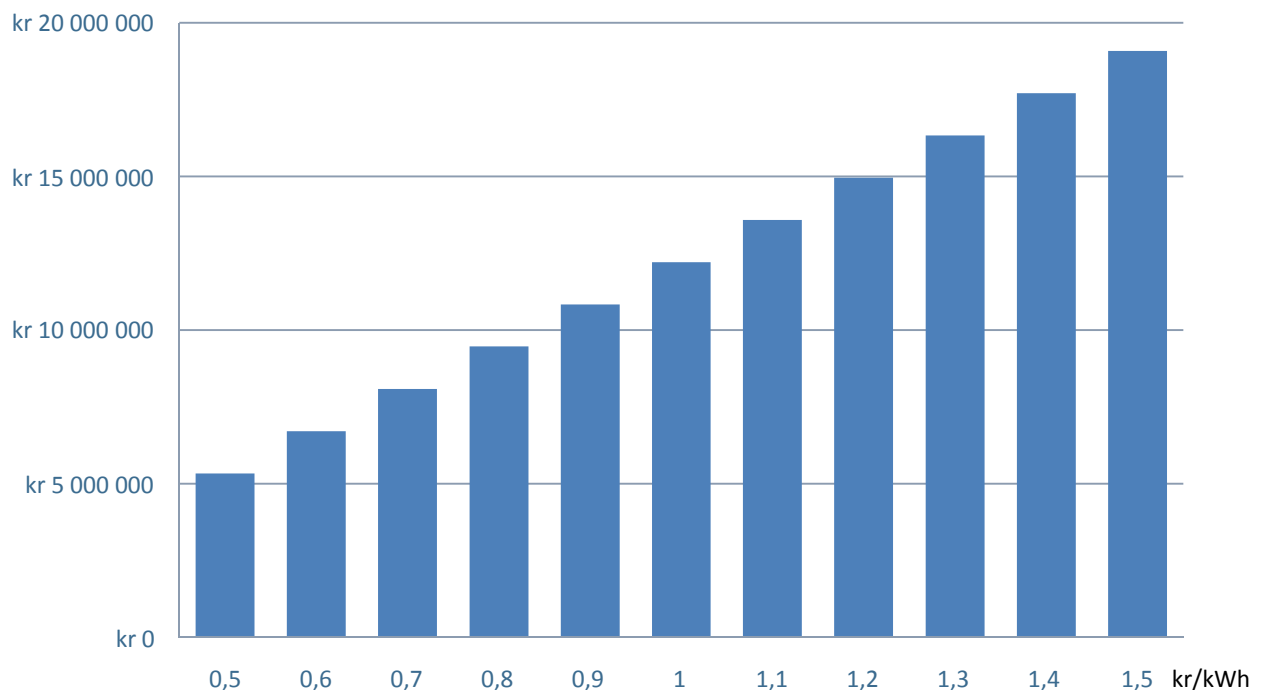
En levert varmemengde på 54,5 GWh gir 59,9 GWh produsert energi for fjernvarme ved forbrenningsanlegget med 9 % varmetap i rørnett. Dette er 15,1 GWh mindre produsert energi til fjernvarme i 2020 enn først antatt.

5.3 Økonomiske konsekvenser av "TEK20"

For å beregne de økonomiske konsekvensene av mindre varmeproduksjon enn først antatt, er et prisscenario nødvendig. Prisen på fjernvarme er lovpålagt å ligge under strømprisen, og normalt vil prisen på fjernvarme være noen øre/kWh lavere enn prisen på elektrisitet [14,45].

Det er valgt å legge prisscenarioet mellom 0,5 og 1,5 kr/kWh fjernvarme inklusive avgifter og overføringer. Dette er rimelig i forhold til variasjoner i strømprisene de siste årene.

Ved levering av mindre fjernvarme vil også utslippskostnadene knyttet til fjernvarmeproduksjonen minske. Dette er tatt hensyn til i beregningene gjort i tilknytning til figur 5.5.



Figur 5.5: Tapt inntekt grunnet mindre varmeproduksjon [kr/år]

Det kommer tydelig frem i figur 5.5 at de direkte økonomiske konsekvensene av mindre varmeproduksjon er sterkt prisavhengig. Ved en fjernvarmepris på 1,5 kr/kWh er tapt inntekt på omlag 19 millioner kroner, mens tapet er omlag 5 millioner kroner for en pris på 0,5 kr/kWh. Sparte kostnader ved reduksjon av utslipp er beregnet til ca. 1,5 millioner.

Denne økonomiske analysen viser at mulighetene for levering av fjernvarme i fremtiden avhenger merkbart av de bygningstekniske krav som stilles for bygninger som det leveres til.

I beregningene gjort for 2020 i denne delen forutsettes det at alle bygninger det leveres til er innenfor de tekniske krav som stilles i "TEK20". Etersom "TEK20", i likhet med TEK07, vil gjelde for bygging av nye bygg, vil trolig ikke alle bygg innen for ett område tilfredstille en eventuell ny byggforskrift i 2020.

Siden anlegget på Trehøringen produserer damp og elektrisitet i tillegg til fjernvarme er det mulig å kompensere for noe av den tapte inntekten ved å øke produksjonen av enten damp og/eller elektrisitet. Etersom det ikke er stort potensial for levering av ytterligere damp i det nærliggende området vil det sannsynligvis være en oppjustering av elektrisitetproduksjonen som er mest aktuell.

6 Diskusjon

6.1 Utvikling av netto energibehov

Beregninger og estimerer utført i del 2 er gjort på bakgrunn av tidligere krav for bygningers energiytelse. Ved opprettelse av en fiktiv byggeforskrift, "TEK20", ble de ulike krav likevel innenfor det som må antas som rimelig i fremtiden. Både u-verdier for vinduer og vegger, gitt i "TEK20", er med dagens bygningsmaterialer fullt mulig å komme innenfor, slik at det er forsvarlig å anta at en slik forskrift vil bli kravpålagt innen 2020. Det vil forøvrig ikke være forsvarlig å gjøre en slik estimering for en eventuell forskrift etter "TEK20". Ettersom varmesoleringsevnen(u-verdien) til isolasjon brukt i dagens bygninger har minimal forbedringseffekt over en viss tykkelse, er det ikke rimelig å anta en slik utvikling i det uendelige.

6.2 Energimerket

Hvilke konsekvenser Energimerket, som skal implementeres i løpet av 2010, får for fjernvarme er noe usikkert. Dette skyldes i hovedsak at den planlagte delen av Energimerket, som inneholder oppvarming, ikke er ferdig utviklet. Det som er klart er at bygninger med mindre behov for oppvarming vil komme bedre ut i en slik vurdering, ettersom karakterskalaen for energiattesten er rangert etter spesifikt energibehov der oppvarming vil inngå som en betydelig del. Selv om det virker å være stor begeistring for fjernvarme fra politisk hold, gjenspeiles ikke dette i det planlagte Energimerket. Investeringskostnadene ved fjernvarme fører med seg store investeringskostnader også for sluttbruker, som er betydelig høyere enn ved bruk av elektrisitet som oppvarming. Ettersom det også vil være knyttet store investeringskostnader til krav om energiytelse i bygninger i tiden fremover, vil det etter innføringen av Energimerket etter alt å dømme være mer attraktivt å investere i isolasjon enn i fjernvarme.

6.2 Fornybar fjernvarme

Fjernvarme basert på fornybare ressurser, i denne oppgaven definert som avfall og biomasse, er estimert til ha et faktisk utnyttbart potensial på omlag 1,7 TWh. Dette er estimert ut i fra de prosjekter som vil være lønnsomme uten offentlig støtte. Ettersom beregnet teoretisk potensial er vesentlig større, vil det være avgjørende hvor mye statlig støtte slike prosjekter får. Som nevnt fikk fjernvarmeanlegget omtalt i del 5 kun 4,4 % prosent av totale investeringskostnader i støtte fra Enova. Ettersom et av kriteriene for å søke om støtte fra Enova er at det ikke skal være bedriftsøkonomisk lønnsomt uten støtte, vil dette si at de økonomiske marginene for slike anlegg er meget små. Det betyr at de faktiske mulighetene for utnytting av fornybar fjernvarme og fjernvarme generelt i fremtiden, er svært avhengig av statlig støtte. Økonomisk støtte til utbygging av anlegg (og fjernvarmenett) vil være avgjørende, men også insentiver for brukere og regelverk for tilknytning til fjernvarme vil være viktig.

6.3 Trehørningen

Beregninger i del 5 viser at antatt energibehov til oppvarming for et gitt området vil gå ned frem mot 2020, grunnet fremtidige krav i forbindelse med energiytelse i bygninger. Dette er basert på at alle bygninger i området vil ligge innenfor krav gitt i "TEK20". Som nevnt vil antagelig dette ikke gjelde alle bygg, siden disse kravene kun vil gjelde ved nybygging.

De totale økonomiske konsekvensene ved lavere varmeproduksjon vil avhenge av hvor stor fleksibilitet elkjelen i forbrenningsanlegget har. Ettersom prisen på strøm antas å ligge på samme nivå som for fjernvarme, kan de negative økonomiske konsekvensene reduseres kraftig hvis forbrenningsanlegget har mulighet til å produsere nok elektrisitet til å kompensere for mindre varmeproduksjon. Ettersom en større elkjel vil forandre de antatte investeringskostnader for det opprinnelige forbrenningsanlegget, bør nye økonomiske analyser for dette scenario utføres.

7 Konklusjon

For at fornybar fjernvarme skal få et solid grunnlag for utvikling i Norge i tiden fremover er det nødvendig med politiske føringer som gjør dette lønnsomt, både for sluttbruker og produsent. Blant pådriverne for dette vil regjeringen, fagdepartementene (Miljøverndepartementet og Olje- og energidepartementet) og Stortinget være de viktigste. Nye lovforslag i Stortinget, og krav og forskrifter fra departementene som har betydning for energibruk, vil legge det meste av grunnlaget for Norges energifremtid.

Netto energibehov for bygg vil etter all sannsynlighet gå ned i tiden fremover. Beregninger ved bruk av "TEK20" viser en nedgang i netto energibehov på 9 % for kontorbygg og en nedgang på 18 % for småhus i forhold til TEK07. Den viktigste faktoren for en slik nedgang i netto energibehov er nedgangen i oppvarmingsbehovet. Beregninger ved bruk av "TEK20" viser en nedgang i oppvarmingsbehovet på 45 % for kontorbygg og en nedgang på 9 % for småhus i forhold til TEK07. Den store nedgangen i oppvarmingsbehov for kontorbygg, vil føre til et økt kjølebehov. Fjernvarmesystem som er planlagt utviklet for byer og næringsområder bør derfor vurdere å tilby fjernkjøling i tillegg til fjernvarme, for å kunne levere en komplett energiløsning for næringslivet.

Forhold som har betydning for primærenergiforbruk ved bruk av fornybar fjernvarme er i hovedsak knyttet til virkningsgraden for fjernvarmeanlegg og distribusjonssystem og faktorer igjen knyttet til disse. I tillegg vil transportkanaler og innretninger hos sluttbruker ha betydning. Ettersom primærenergi og primærenergifaktor er relativt nye begreper i norsk energipolitikk, er det ennå ikke avklart hvor systemgrenser for beregninger av disse skal settes.

Gjennom analysen av Trehørningen forbrenningsanlegg ble det beregnet en nedgang på 20,2 % i behovet for levert varme for et gitt område i 2020 i forhold til dagens behov. For å kompensere for nedgangen i varmeproduksjonen er det mest nærliggende å øke elektrisitetproduksjonen.

Norges energifremtid avhenger sterkt av politiske føringer og de politiske signaler som gis. Slik situasjonen er i dag er det en betydelig tvetydighet i den norske energipolitikken hva gjelder foreslåtte krav og energiløsninger. På den ene siden er det krav som regulerer u-verdier. Av dette følger redusert behov for oppvarming nå og frem mot 2020 og større investeringskostnader i nye bygninger. På den annen side og parallelt ser det ut til å være stor politisk vilje til å øke bruken av fjernvarme. Noe som fører med seg ytterligere økte kostnader for husholdningene eller næringslivet på grunn av de investeringer som implementering i bygg utgjør.

Selv om begeistringen fra offentlig hold er stor for økt bruk av fjernvarme, er ennå ikke konkrete retningslinjer på plass for at fjernvarme faktisk blir et lønnsomt alternativ for energiprodusenter og sluttbruker. Skal fjernvarme bli en del av den fremtidige energiløsningen, er konkrete politiske signaler nedfelt i lover, krav og forskrifter, samt insentiver for sluttbruker

og produsent helt nødvendige. Dersom Norge ønsker å opprettholde sin status som foregangsland på miljø og energi, bør ikke våre myndigheter drøye dette for lenge.

8 Litteraturliste

- [1] Stortingsmelding nr.29 (1998-99), Om Energipolitikken
<http://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/dok/regpubl/stmeld/19981999/Stmeldnr-29-1998-99-.html?id=192287>
- [2] Program for fjernvarme nyetablering,
<http://naring.enova.no/sitepageview.aspx?articleID=332>
- [3] Fjernvarmekonsesjoner, NVE, <http://www.nve.no/no/Konsesjoner/Fjernvarme/>
- [4] LOV-1985-06-14-77: Plan og Bygningsloven, besøkt
<http://www.lovdatab.no/all/nl-19850614-077.html>
- [5] LOV 1990-06-29 nr 50: Energiloven
<http://www.lovdatab.no/all/hl-19900629-050.html>
- [6]-NVE ukritisk til fjernvarme, artikkel Teknisk Ukeblad, NR1909
- [7] Trondheim Energiverk
www.tev.no
- [8] Vedtekter, Trondheim kommune
<http://www.trondheim.kommune.no/content.ap?thisId=1117624757>
- [9] Direktiv om bygningers energibruk, v/ Seniorrådgiver Jens Petter Burud, Enova
<http://www.enova.no/file.axd?fileID=149>
- [10] Directive 2002-91EC, "Energy performance of buildings directive" (EPBD)
<http://www.buildingsplatform.org/cms/>
- [11] FOR 1997-01-22 nr 33: Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk (TEK)
<http://www.lovdatab.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-19970122-0033.html#8-23>
- [12] Utvalgte u-verdier i Europa
<http://www.eurima.org/u-values-in-europe/>
- [13] International Energy Agency (IEA)
<http://www.iea.org/>

[14] Statistisk sentralbyrå

www.ssb.no

"Fortsatt lavt strømforbruk i husholdningene", <http://www.ssb.no/emner/01/03/10/husenergi/>

Energibalansen 1990-2006, <http://www.ssb.no/emner/01/03/10/energiregn/arkiv/>

"Høge straumprisar gav høgt overskot", <http://www.ssb.no/emner/10/08/10/elektrisitetaar/>

Strømpriser i ulike land i utvalgte år i perioden 1980-2007,

<http://www.ssb.no/samfunnspeilet/utg/200804/10/tab-2008-10-08-01.html>

Energiregnskap og energibalanse, <http://www.ssb.no/vis/emner/01/03/10/energiregn/o.m.html>

Boligstatistikk, www.ssb.no/boligstat

Økt bruk av fjernvarme, <http://www.ssb.no/emner/10/08/10/fjernvarme/index.html>

[15] Metrologisk institutt

www.met.no

[16] BIOREG, <http://www.bioreg.no/vedovner.php>

[17] Bøeng, Ann Christin (2005): Energibruk i husholdninger 1930-2004 og forbruk etter husholdningstype, Rapporter 2005/41

[18] Norsk Standard, <http://www.standard.no/>

[19] Ny NBI-anvisning med samling av energieffektive løsninger og konstruksjoner, Byggforsk

[20] Norsk Standard NS3031:2007

[21] NS-EN 15603

[22] OED, NOU 1998: 11, Kraftbalansen mot 2020

[23] Thermodynamics an Engineering Approach Çengel, Yunus A. and Boles, Michael

[24] The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing, Sjaak van Loo , Jaap Koppejan

[25] Municipal Solid Waste and its Role in Sustainability, ExCo 2003:02, IEA

[26] Agricultural Market Impacts of the Future Growth in the Production of Biofuels,

www.oecd.org/dataoecd/58/62/36074135.pdf

[27] Efficient waste-to-energy system as a contribution to clean technologies, Clean Techn Environ Policy (2009) 11:19–29

<http://www.springerlink.com/content/l087154lk7q81446/fulltext.pdf>

[28] St.meld. nr. 54 (2000-2001), Norsk klimapolitikk

<http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/dok/regpubl/stmeld/20002001/stmeld-nr-54-2000-2001-/22.html?id=325803>

- [29] Forbud mot deponering av nedbrytbart avfall, Miljøverndepartementet
<http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/pressecenter/pressemeldinger/2008/forbud-mot-deponering-av-nedbrytbart-avf.html?id=520348>
- [30] Energiøkonomisering - en håndbok for kommuner og everk (OED/MD)
- [31] Miljøstatus i Norge, Avfall og gjenvinning,
<http://www.miljostatus.no/tema/Avfall/Avfall-og-gjenvinning/>
- [32] Norsk Petroleumsinstitutt, Faktaark nr.5: Virkningsgrader
- [33] Gjennomsnittlig varmetap norske fjernvarmenett,
<http://www.ssb.no/emner/10/08/10/fjernvarme/tab-2008-09-18-01.html>
- [34] Avfall i Norge, SFT, http://www.sft.no/artikkel____31161.aspx
- [35] Varmestudien 2003, Enova, www.enova.no
- [36] Klimanytte ved gjenvinning, Norsk Industri, www.norskindustri.no
- [37] Energimerking av bygg og boliger, www.energimerking.no
- [38] Sjøppeleksport rammer milliardsatsing, artikkel Teknisk Ukeblad, NR2209
- [39] Konsekvensutredning for Trehørningen forbrenningsanlegg, COWI, 2007
- [40] Energigjenvinning fra avfall, Trehørningen – Hamar
Presentasjon ved bedriftsforsamlingen i Eidsiva Energi
- [41] Avfall Norge, rapport 7/2006, Mepex Consult AS og PROFU AB
<http://www.avfallnorge.no/fagomraader/rapporter/2006/>
- [42] Avgift på sluttbehandling av avfall (kap. 5546 post 70),
<http://www.lovdatab.no/for/sf/sv/td-20081127-1295-027.html>
- [43] FOR 2004-06-01 nr 930, Avfallsforskriften,
<http://www.lovdatab.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20040601-0930.html>
- [44] Prosjektoppgave høst 2008; Undersøkelse av noen (2) større fjernvarmenett mhp varmetap fra systemene og forslag til teknisk/økonomisk og miljøorientert optimalisering av forbedringer, EPT 2008, Magnus Bakken
- [45] Hafslund, Priser på fjernvarme, www.hafslund.no

[46] Teknisk rapport, Oppvarmingssystemer for lavenergiboliger, TR A6182, Sintef AS
[http://www.lavenergiboliger.no/hb/lavenergi.nsf/0/5e033dfdff639adec12571ea00272f1c/\\$FILE/Oppvarmingssystemer-i-lavenergiboliger-nyversjon150906.pdf](http://www.lavenergiboliger.no/hb/lavenergi.nsf/0/5e033dfdff639adec12571ea00272f1c/$FILE/Oppvarmingssystemer-i-lavenergiboliger-nyversjon150906.pdf)

[47] NOU 1998: 11 Energi- og kraftbalansen mot 2020
www.regjeringen.no/nb/dep/oed/dok/NOU-er/1998/NOU-1998-11.html?id=141308

[48] Fornybar varme 2020, Potensialstudie og analyse av framtidig utbygging av fjernvarme og lokale varmesentraler, Xrgia,
<http://www.xrgia.no/Files/Presentasjoner/Sluttrapport%20-%20Potensialstudie%20fjernvarme%20v8.pdf>

[49] Primærenergifaktorer, HØRINGSSVAR FRA NORSK FJERNVARME OM TEK OG SAK, Oslo, 15. september 2006
http://www.regjeringen.no/upload/kilde/krd/hdk/2006/0004/ddd/pdfv/290383-norsk_fjernvarme.pdf