

NOTAT

Oppdragsnavn: Energiforsyningskravet i byggeforskriftene

Oppdragsnummer: 11081

Oppdragsgiver: Norsk fjernvarme/Energi Norge

Dato: 14. oktober 2014

Revisjonsnummer:

Revisjonsdato:

Utarbeidet av: Søren Gedsø, Ida Bryn

Sign: _____

Sidemansk kontroll: Arnkell J. Petersen

Sign: _____

ENERGIFORSYNINGSKRAVET I BYGGEFORSKRIFTENE

INNHALDSFORTEGNELSE

1. SAMMENDRAG	3
2. INNLEDNING	5
3. UTSLIPPSMÅL OG FORSYNINGSSIKKERHET	7
4. FLEKSIBILITET	8
4.1 Regulatoriske forhold knyttet til leveranse av elektrisitet og varme.....	8
4.2 Temperaturnivå og teknologiske muligheter	11
4.2.1 Exergi, anergi og temperaturnivå.....	11
4.2.2 Lavtemperatur varmeanlegg gir økt utnyttelse av solfangere og varmepumper	14
4.2.3 Bedret energieffektivitet med lavtemperatur varmeanlegg.....	17
4.2.4 Lavtemperatur varmeanlegg gir økt potensiale for utnyttelse av eksisterende infrastruktur	18
4.3 Krav til energifleksibilitet i TEK.....	19
5. TEORETISK BEREGNET OG VIRKELIG ENERGIBRUK	21
5.1 Metoder for dokumentasjon av netto, levert og sannsynlig virkelig levert energi	22
5.2 Virkelig målt energibruk i bygg.....	23
5.3 Beregnet virkelig kontra teoretisk energibruk.....	28
5.3.1 Bolig.....	29
5.3.2 Kontor	31
5.4 Energibruk til oppvarming og tappevann i fremtidens bygg	32
5.5 Eksempler på definisjoner av Nullenergihus og plusshus.....	32
6. VARMEFORSYNING I BYGG I FORHOLD TIL DET KOLLEKTIVE ENERGISYSTEMET	36

Side 1 av 42

Filsti: C:\Users\lmborg\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Outlook\HNGRF6HE\Energiforsyningskravet-141015.docx

NOTAT

6.1	Hvordan dekker vi spisslasten?	36
6.2	Valg av varmesystemet og konsekvenser for utslipp	38
6.3	Kollektive systemer har profesjonell drift og kontroll på utslipp	38
6.4	Kostnader ved valg av varmesystem	39
7.	KONKLUSJON OG ANBEFALINGER.....	39
8.	REFERANSER	41

1. SAMMENDRAG

Byggeteknisk forskrift innførte egne krav til energiforsyning i TEK 07. Kravene gjaldt at en andel av energien til oppvarming av bygg skulle leveres av ikke fossil energi eller direkte elektrisitet

Denne rapporten undersøker nærmere utviklingen av virkelig termisk energibruk i bygg og drøfter behov for fortsatt krav til energiforsyningssystem sett i forhold til de miljømål som gjelder. Som et ledd i dette drøfter rapporten også mulig krav til energifleksibilitet i byggenes varmesystem.

EU har satt ambisiøse mål for å redusere utslipp av klimagasser:

These targets, known as the "20-20-20" targets, set three key objectives for 2020:

- A 20% reduction in EU greenhouse gas emissions from 1990 levels
- Raising the share of EU energy consumption produced from renewable resources to 20%;
- A 20% improvement in the EU's energy efficiency

Norge skal fram til 2020 redusere de globale utslippene av klimagasser tilsvarende 30 prosent av Norges utslipp i 1990. Klimamålet og fornybarmålet gjelder også for Norge, mens regjeringen ennå ikke er ferdig med vurderingene om energieffektiviseringsdirektivet og dermed målet for energieffektivisering skal gjelde her.

En rekke tiltak for å oppnå dette er allerede iverksatt, men erfaringene så langt tyder på at effekten av tiltakene ikke er så stor som beregnet.

Oppsummering av det som er dokumentert av virkelig kontra teoretisk beregnet energibruk i bygg viser at både total energibruk og energibruk til termiske formål er høyere i virkeligheten enn det som beregnes i de undersøkte byggene.

Beregningene understøtter de målinger som er gjort på boliger og viser at det også i fremtiden sannsynligvis vil bli et betydelig behov for energi til oppvarming av rom, ventilasjon og tappevann.

Energifleksibilitet vil gi brukerne mulighet til å velge energiforsyningskilde til oppvarming også i fremtiden. Med energifleksibilitet i bygg mener vi i denne rapporten hvilke muligheter en byggeier har for å velge mellom energikilder til sitt varme- og kjølesystem. Ved å velge væskebårne distribusjonssystemer for varme og kjøling, kan byggeier velge varmepumper, elektrisitet, solvarme, bioenergi, fjernvarme m.m som kilder til sitt varmesystem.

Fleksibiliteten innebærer følgelig at byggeier har mulighet til å velge energikilde avhengig av tilgjengelighet og pris. Det vil være til nytte for byggeier på kort og lang sikt – og det vil være til nytte for det totale energisystemet gjennom økt energieffektivitet og muligheten for å spille

på flere energikilder. Nyten av et energifleksibelt anlegg bør vurderes mot eventuelle merkostnader. Dette er en vurdering beheftet med stor usikkerhet da byggene har en levetid på 50 til 100 år og utviklingen av energiteknologi og –pris på så lang sikt er ukjent. Samtidig vet vi at en investering i et fleksibelt vannbåret system vil være betydelig rimeligere dersom det gjøres når bygget er nytt enn senere når det er i drift. Det vil derfor være en større terskel for investere i et slikt anlegg i en eksisterende bygningsmasse og det vil derfor kunne ta lenger tid å konvertere til fremtidige energieffektive løsninger dersom byggene ikke har energifleksible varmedistribusjonssystemer.

Leverandører i kollektive energisystemer kan dokumentere virkelig energiytelse og utslipp, noe som sjelden er tilfelle med lokale energisentraler. Samtidig gir dagens energimerkeordning mulighet for bruk av svært gode systemvirkningsgrader for lokale energisentraler med varmepumpe, mens fjernvarmeleveranser basert på samme løsning ikke gis denne muligheten. Dette kan føre til en ikke optimal løsning med en rekke lokale energisentraler som ikke driftes godt og som er avhengig av el eller fjernvarme som spisslast. Spisslasten utgjør gjerne 50 % av effekten, men kun får prosent av energien. Det må etableres ordninger som sikrer god økonomi også for leveranse av spisslast. Ønske om «Nullenergi» og «Plusshus» stiller ytterligere store krav til de kollektive energisystemene. Utvikling av energileveringsløsninger for «Nullenergi» og «Plusshus» vil kreve betydelig samordning med og tilpasning til kollektive leverandører av elektrisitet og fjernvarme for en samfunnsmessig og totaløkonomisk optimal løsning av utviklingen mot et nullutslippssamfunn.

Lavtemperatur på varmesystemet (lav eksergi) er en forutsetning for maksimal fleksibilitet i forhold til å utnytte alle andre energikilder. Et krav om lavtemperatur varmesystem i bygg vil sikre en bygningsmasse med maksimal fleksibilitet i overskuelig fremtid. Dette vil samtidig bidra til betydelig energifleksibilitet for den enkelte bruker, Norge som nasjon og Europa dersom kraftoverføring utbygges.

Vi anbefaler at det for nybygg stilles krav til fremtidig høy grad av energifleksibilitet. Det anbefales at 100 % av netto termisk energi til nybygg gjøres energifleksible. Flexibiliteten bør omfatte oppvarming av tappevann, romoppvarming og ventilasjonsoppvarming. I tillegg bør tilsvarende krav stilles til gatevarmesystemer Følgende krav til vannbåret system kan tilfredsstillende slik energifleksibilitet:

	Medie	Maksimum turtemperatur
Tappevann	væske	70 °C
Romoppvarming	væske	45 °C
Ventilasjonsvarme	væske	40 °C

Alternativt kan en gjennomføre en trinnvis innføring av et slikt krav ved at en i 2015 stiller krav til noe høyere temperaturer enn i f.eks 2020.

Energifleksibilitet	2015	2020
% andel netto energi iht NS3031 som gjøres energifleksibelt	80	100
Andre anlegg som skal utføres energifleksible	Gatevarme	Gatevarme, Svømmeanlegg

		Maksimum turtemperatur	
	Medie	2015	2020
Tappevann	væske	70 °C	65
Romoppvarming	væske	45 °C	35
Ventilasjonsvarme	væske	40 °C	35

Unntak kan vurderes innført for små bygg med spesielt lite behov for varme og kjøling.

2. INNLEDNING

Byggeteknisk forskrift innførte egne krav til energiforsyning i TEK 07. Kravene gjaldt at en andel av energien til oppvarming av bygg skulle leveres av ikke fossil energi eller direkte elektrisitet. Begrunnelsen for kravene er bl.a /18/:

- Redusere utslipp av klimagasser
- Norge er en del av et større kraftmarked
- Differensiert energiproduksjon og forsyning
- Knapphet på elektrisitet
- Frigjøre elektrisitet til el. Spesifikke formål
- Energifleksibilitet hos forbruker

De spesifikke kravene på at hhv 40 og 60 % av energien skal dekkes av annet enn direkte el og fossil energi synes imidlertid lite begrunnet.

Utviklingen i retning av passivhus, «Nesten nullenergi» og «plusshus» har ført til at flere hevder at disse byggene får så lavt termisk energibehov at det ikke er nødvendig å stille krav til termisk energiforsyning og at de gjerne kan forsynes med direkte elektrisitet.

Situasjonen i dag og framover innebærer ingen knapphet på elektrisitet i Norge. Det er imidlertid ingen garanti for at denne situasjonen ikke endrer seg. Bygg skal leve i mange år og etterinstallasjon av infrastruktur er mer kostbart enn å lage den ved nybygg. Situasjonen i dag burde derfor ikke forhindre at en ser på systemløsningene for varmforsyning i bygg i et langsiktig perspektiv med så effektiv utnyttelse av tilgjengelig spillvarme (herunder varme fra avfallsforbrenning), elektrisitet og annen fornybar energi som mulig.

Denne rapporten undersøker nærmere utviklingen av virkelig termisk energibruk i bygg og drøfter behov for fortsatt krav til energiforsyningssystem sett i forhold til de miljømål som

gjelder. Som et ledd i dette drøfter rapporten også mulig krav til energifleksibilitet i byggenes varmesystem. Et vannbåret varmesystem er en forutsetning for å ha full fleksibilitet i forhold til å velge fremtidig optimale energiforsyningsløsninger etter hvert som de utvikles. Rapporten foreslår mulige krav til slike anlegg for å oppnå god fremtidig fleksibilitet.

.

3. UTSLIPPSMÅL OG FORSYNINGSSIKKERHET

Energi- og klimapolitikken i EU er forankret i de overordnede målene for utslipp og forsyningssikkerhet – 20-20-20-målene fra 2008. Norge tilpasser seg i stor grad EU sine målsetninger gjennom EØS samarbeidet. EU har definert følgende CO₂ utslippsmål med tilhørende delmål på frem til 2020: /16/

The climate and energy package is a set of binding legislation which aims to ensure the European Union meets its ambitious climate and energy targets for 2020:

These targets, known as the "20-20-20" targets, set three key objectives for 2020:

- A 20% reduction in EU greenhouse gas emissions from 1990 levels;
- Raising the share of EU energy consumption produced from renewable resources to 20%;
- A 20% improvement in the EU's energy efficiency

2020 er nært forestående og EU arbeider med skjerpede mål for 2030. .

EU definerte bl.a et eget bygningsenergidirektiv /4/ som et verktøy for å nå disse målene.

For Norge oppgir regjeringen følgende på sine hjemmesider (20140903): /17/

Norge vil jobbe for at den globale temperaturøkningen skal holdes under 2°C sammenlignet med førindustrielt nivå. Norge skal fram til 2020 redusere de globale utslippene av klimagasser tilsvarende 30 prosent av Norges utslipp i 1990. Utslippene i 2020 skal reduseres med 15-17 millioner tonn CO₂-ekvivalenter sammenlignet med referansebanen fra Nasjonalbudsjettet for 2007, når skog er inkludert. Om lag to tredjedeler av kuttene skal tas nasjonalt.

Klimamålet og fornybarmålet gjelder også for Norge, mens regjeringen ennå ikke er ferdig med vurderingene om energieffektiviseringsdirektivet og dermed målet for energieffektivisering skal gjelde her.

4. FLEKSIBILITET

Med energifleksibilitet i bygg mener vi i denne rapporten hvilke muligheter en byggeier har for å velge mellom energikilder til sitt varme og kjølesystem.

Ved å velge væskebårne distribusjonssystemer med riktig temperaturnivå for varme og kjøling, kan byggeier velge varmpumper, elektrisitet, solvarme, bioenergi, fjernvarme m.m som kilder til sitt varmesystem. Flexibiliteten innebærer følgelig at byggeier har mulighet til å velge energikilde avhengig av tilgjengelighet og pris. Det vil være til nytte for byggeier på kort og lang sikt – og det vil være til nytte for det totale energisystemet gjennom økt energieffektivitet og muligheten for å spille på flere energikilder.

Dette står i motsetning til om man velger et energisystem basert på panelovner eller annen direkte elektrisk oppvarming. Da har byggeier ingen mulighet for å velge mellom kilder og samfunnet må framskaffe tilstrekkelig mengde elektrisitet uavhengig av om andre løsninger er mer gunstige ut fra miljø- og kostnadshensyn.

Lavt ekserginivå på energidistribusjonssystemet hos brukeren gir høy energifleksibilitet og mulighet for høy energieffektivitet i solvarme og varmpumpesystemer.

Et varmesystem med et temperaturnivå på 80 °C kan forsynes med elektrisitet, en kjel fyrt med olje og de fleste fjernvarmesystemer. De kan til en viss grad også forsynes med varmpumpe, men med relativt lav effektivitet. Et lavtemperatur varmesystem med temperaturnivå på for eksempel 35 °C kan derimot forsynes med både solvarme og varmpumpe og også varmes opp med returvannet på fjernvarmenettet. Det er derfor lavtemperatur varmesystem som skaper størst energifleksibilitet både for forbruker og samfunn.

Det finnes andre systemer enn lavtemperatur vannbåren varmesystem som kan gi en viss grad av fleksibilitet. Luft kan for eksempel også distribuere varme. Det er imidlertid ansett for å være et mindre egnet medie pga lavere varmekapasitet. Videre er det en del energiforsyningsalternativer som kan plasseres i ethvert rom og slik gir fleksibilitet. Disse er vedfyring, lokale gass og oljekjeler. De representerer løsninger som kan fungere for eneboliger i spredte strøk, men kan by på utfordringer knyttet til lokale utslipp i byer og tettsteder.

4.1 Regulatoriske forhold knyttet til leveranse av elektrisitet og varme

Et bygg har behov for ulike typer energi til ulike formål. De ulike formålene har videre ulike krav til energien. De ulike formålenes mulige leveringsmedier og krav til disse er også med å

bestemme krav til distribusjonsnett som videre stiller krav til de ulike energikilder. Omvendt blir dette bestemmende for hvilke energikilder som kan benyttes samt deres effektivitet. I Tabell 1 er de viktigste formålene knyttet til energi i bygg satt opp med beskrivelse av mulige energiformer og nødvendige egenskaper ved disse. Forskriftsregulering rundt dette er også beskrevet.

Som det fremkommer er det sterkere regulering av krav til elektrisitet enn til termisk energi ved at det er krav om et spenningsnivå på elektrisiteten. Dette er gjort av hensyn til at de enkelte bygg skal passe inn i en felles infrastruktur, for å oppnå standardisering og av sikkerhetsmessige hensyn. Det er ingen slik regulering av termiske systemer unntatt i fjernvarmekonsesjonsområder. Dette fører til at det er ulike løsninger i de fleste bygg og mange bygg har høye temperaturnivåer som reduserer utnyttelsen av flere typer utslippsfri fornybar energi som solvarme og varmepumpe.

Det er imidlertid mulig å utarbeide retningslinjer for slike systemer som gjør dem mest mulig tilgjengelige og fleksible for de aller fleste energikilder. Her er derfor et potensiale i å tilrettelegge for fremtidig energifleksibilitet ved å stille krav til type medie og egenskaper ved mediet. For varmesystemer innebærer det væskebasert distribusjonssystem med lavest mulig temperaturnivå. For kjølesystemer betyr det også væskesystem, men med høyest mulig temperaturnivå. Riktig valg av nivå bør utredes. Viktigheten av dette begrunnes ytterligere i avsnitt 4.2 Temperaturnivå og teknologiske muligheter.

Formål	Type energibeh ov	Mulige leveringsformer	Regulert i forskrift		
			Mengde	Energikilde	Nivå: El: Spenning Termisk: Temperatur
Rom-oppvarming	Termisk varme	Elektrisitet Væske med temperatur ned mot 30 °C	Ja	Ja, ved fornybarandel	El: Ja Termisk: Nei
Ventilasjons-oppvarming	Termisk varme	Elektrisitet Væske med temperatur ned mot 40 °C	Ja	Ja, ved fornybarandel	El: Ja Termisk: Nei
Tappevann	Termisk varme	Elektrisitet Væske med av temperatur ned mot 60-65 °C pga Legionella risiko.	Ja	Ja, ved fornybarandel	El: Ja Termisk: TEK anbefaler min 60 °C
Belysning	Elektrisitet	Elektrisitet	Kun i passivhustandard	Kun elektrisitet er mulig	Ja

Utstyr	Elektrisitet	Elektrisitet	Nei	Kun elektrisitet er mulig	Ja
Vifter og pumper	Elektrisitet	Elektrisitet	Ja, delvis ved krav til SFP i tiltakspakke i TEK	Kun elektrisitet er mulig	Ja
Kompressorer	Elektrisitet	Elektrisitet	Nei	Kun elektrisitet er mulig	Ja
Ventilasjonskjøling	Termisk kulde	Kan benytte væske med temperatur opp mot 18 °C	Ja	Nei	Nei
Lokal kjøling	Termisk kulde	Kan benytte væske med temperatur opp mot 18 °C	Ja	Nei	Nei
Prosesskjøling	Termisk kulde	Avhenger av formål	Nei	Nei	Nei
Utendørs belysning	Elektrisitet	Elektrisitet	Nei	Kun elektrisitet er mulig	Ja
Basseng	Termisk varme	Elektrisitet Kan benytte væske med lav temperatur ned mot 30 °C	Nei	Nei	El: Ja Termisk: Nei
Gatevarme	Termisk varme	Elektrisitet Kan benytte temperatur ned mot 30 °C	Nei	Nei	El: Ja Termisk: Nei

Tabell 1 Mulige energiformer og nødvendige egenskaper ved disse til ulike formål i bygg. Regulering ved forskrift av energiformer og formål.

Forskriften sier følgende om krav til anlegg i områder med tilknytningsplikt for fjernvarme:

§ 14-8. Fjernvarme

Der hvor det i plan er fastsatt tilknytningsplikt til fjernvarmeanlegg etter plan- og bygningsloven § 27-5, skal nye bygninger utstyres med varmeanlegg slik at fjernvarme kan nyttes for romoppvarming, ventilasjonsvarme og varmtvann.

Den er mao svært klar på at alle anlegg i boligen skal tilrettelegges for bruk av fjernvarme.

Det har i tillegg vært en utbredt praksis at det i en del systemer kan benyttes el også i fjernvarmekonsesjonsområder fordi det anses som en rimeligere løsning enn vannbårne systemer. Det gjelder spesielt gulvvarme på bad og ventilasjon i boliger.

Det er nå slått fast fra DIBK i brev av 13/11 – 2013 til Norsk Fjernvarme at alt behov for termisk energi omfattes av krav til tilrettelegging for forsyning med fjernvarme i konsesjonsmrådene. DIBK skriver følgende: «*Ut fra tidligere tolkningsuttalelse fra departementet og veiledning til bestemmelsen legges det til grunn at det gjelder et krav om at bad må utstyres med installasjon av varmeanlegg slik at fjernvarme kan nyttes.*»

Det er en rekke formål til energi som ikke er regulert i noen grad. Dette gjelder en rekke uteanlegg og teknisk utstyr. Et eksempel er snøsmelteanlegg som er brukt i stadig større omfang. En rekke av disse anleggene er svært energikrevende. Når de bygges med væskebårne varmesystemer åpner de for å bruke energi fra mange kilder. Krav til medie og temperaturnivå på disse anleggene vil sikre større fremtidig energifleksibilitet.

For å sikre fremtidig størst mulig fleksibilitet bør det stilles krav også til utomhusanlegg. Kravene bør omfatte både energieffektivitet og energifleksibilitet. Tilsvarende bør det stilles krav til tilrettelegging for energieffektivitet og fleksibilitet i byggene. Dette kan på sikt være viktigere enn at byggene har en løsning som synes miljøvennlig i dag, men som ikke er tilrettelagt for energifleksibilitet.

Et fleksibilitetskrav bør omfatte krav til distribusjonsnett, medie og temperaturnivå. Bygg som har fleksible systemer i byggene sine kan forsynes med både elektrisitet, fjernvarme og alle typer lokale energikilder.

4.2 Temperaturnivå og teknologiske muligheter

Energifleksibilitet er et relativt begrep og enkelte systemer er mer fleksible enn andre. Exergi og anergi er viktige begreper for å kvantifisere denne fleksibiliteten. I dette avsnittet gis en nærmere definisjon av dette samt eksempler på fleksible teknologiske løsninger.

4.2.1 Exergi, anergi og temperaturnivå

For å beskrive en energimengdes anvendelighet benyttes begrepet eksergi. Eksergi er den delen av energien som kan utføre arbeid. Den delen av energien som ikke lar seg utnytte til arbeid kalles anergi. Varme ved omgivelsestemperatur er eksempel på anergi. Energi består av eksergi og anergi, og summen av dem er uforanderlig. Dette gjelder for alle omvandlinger fra en energiform til en annen.

I alle reelle prosesser er det ulike former for tap, for eksempel å grunn av friksjon. Den varmen som utvikles har lavere eksergiinnhold enn den mekaniske energien som ble benyttet til å lage varme. Dette betyr at eksergiinnholdet i praksis reduseres ved alle former for omvandling, mens anergi-innholdet øker.

Eksergi er den delen av en energimengde som teoretisk kan konverteres til arbeid (mekanisk energi).

For en mengde termisk energi E_H kan eksergien X_H uttrykkes slik:

$$X_H = E_H * \left(1 - \frac{T_A}{T_H}\right)$$

, hvor E_H er energimengden, T_H er energimengdens absoluttemperatur og T_A er absolutt omgivelsestemperatur. Resten av energimengden kalles anergi. Eksempler på eksergi mengde i ulike energiformer ved omgivelsestemperatur 20 °C:

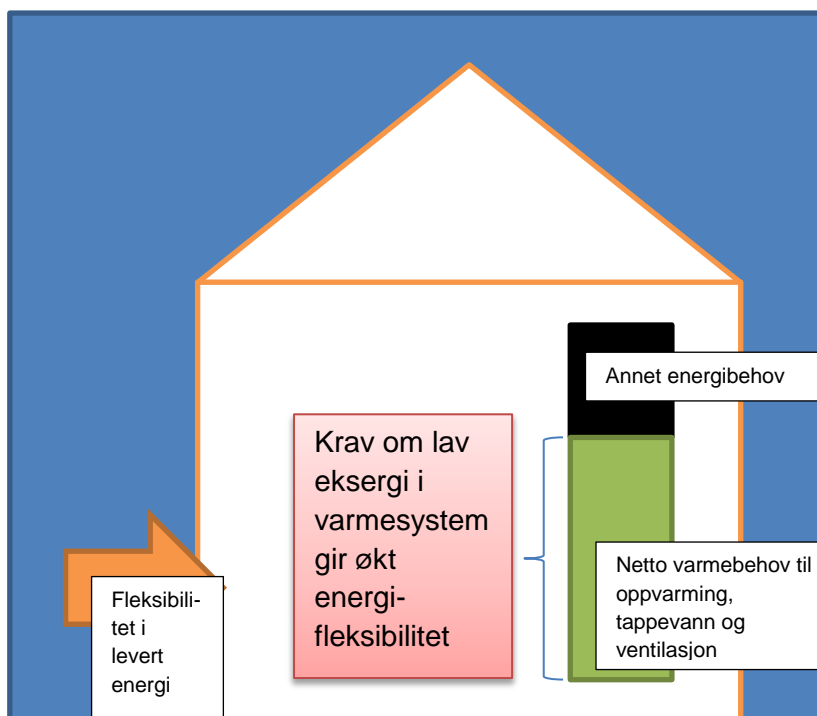
	Prosent
• Elektrisk energi	100
• Kjerne energi	100
• Kjemisk energi (fossilt brensel)	95
• Damp ved 200 °C	60
• Fjernvarme ved 80 °C	20
• Sentral varme med varmt vann a 50 °C	9
• Spillvarme ved 35 °C	5
• Sentral varme med varmt vann a 30 °C	3

Praktisk betyr det at hvis en har 100 kWh elektrisk strøm kan alt det benyttes til f.eks kraft til maskiner og lys, mens dersom en har 100 kWh spillvarme på 35°C får en kun 5 kWh til arbeid ved omgivelsestemperatur på 20 °C .

Omvendt betyr dette at en varmepumpe som henter energien sin fra 20 °C og leverer til 35 °C kun trenger teoretisk 5 kWh strøm til varmepumpa for å levere 100 kWh varme, dvs får en teoretisk COP på 20.

Videre innebærer dette at et energisystem med høyt eksergiinnhold kan levere energi til et energisystem med lavere eksergiinnhold uten annen energitilførsel. Eksempelvis kan elektrisitet produsere damp som kan levere fjernvarme. Alt dette skjer uten annen ekstra energi enn eventuelle sirkulasjonspumper. Den motsatte prosessen fra fjernvarme til elektrisitet innebærer bruk av elektrisk energi.

Dette illustrerer at et varmesystem med lavt eksergiinnhold kan utnytte energikilder med lavt eksergiinnhold med lite ekstra energitilførsel. Lavt eksergiinnhold er derfor en forutsetning for energifleksibilitet. Prinsippet er illustrert i Figur 1.



Figur 1 Energifleksibilitet i varme system gir energifleksibilitet i energiforsyning

Det er enkelt å definere ekserginivået i et varmesystem og det er derfor også enkelt å kunne stille krav til det. Eksempelvis kunne en kreve maksimalt 3% eksergi i et varmeanlegg.

Tilsvarende prinsipp for energifleksibilitet kan uttrykkes for kjøling. Det viser at kjøling med høy temperatur (16 - 20 °C) gir mulighet som svært høy energifleksibilitet og energieffektivitet..

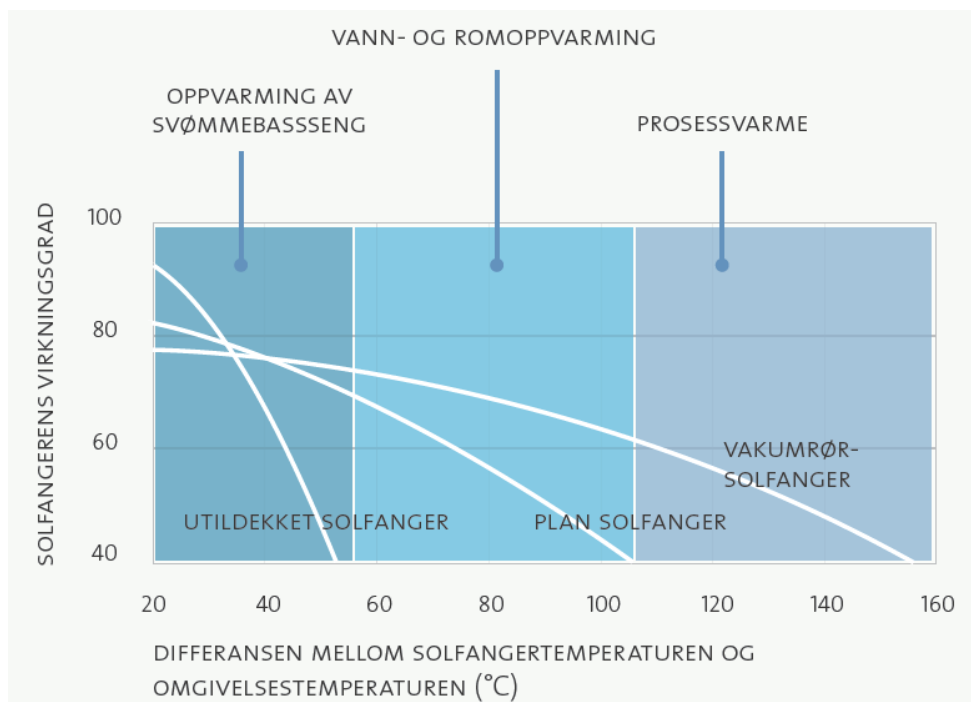
Det finnes allerede i dag systemer på markedet som varmer og kjøler ved 20 °C medietemperatur i en og samme enhet.

Slike høytemperatur kjølesystemer i kombinasjon med lavtemperatur varmesystemer gir til sammen store muligheter for svært høy energieffektivitet.

4.2.2 Lavtemperatur varmeanlegg gir økt utnyttelse av solfangere og varmepumper

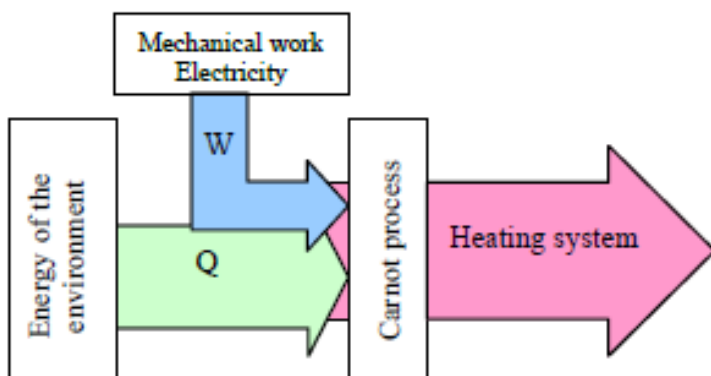
De viktigste fornybare termiske energikildene er biobrensel, solvarme og varmepumpe. Ytelsen på solvarme og varmepumpe øker kraftig jo lavere temperatur som benyttes for å levere energi.

Solfangere absorberer solenergi i et medie gjennom en solfanger. Denne solfangeren har samtidig et varmetap til omgivelsene. Varmetapet kan reduseres ved å ha flere lag glass, men da reduseres samtidig solenergien som transmitteres inn i mediet. Typisk sammenheng mellom virkningsgrad på solfanger og temperaturforskjell mellom medie og utetemperatur er vist i Figur 2. De tre hvite kurvene representerer hhv utildekket, plan og vakuumrørsolfanger. De blå arealene representerer ønsket temperaturnivå for ulike bruksområder for varme. For en alminnelig plan solfanger faller her virkningsgraden med 10 prosentpoeng når temperaturforskjellen mellom medie og utetemperatur øker fra 20 til 50 °C. Dette illustrerer at lav temperatur på varmeanlegget er viktig for å utnytte solvarme.



Figur 2 Sammenheng mellom virkningsgrad og temperaturnivå for tre typer solfangere, hhv utildekket-, plan- og vakuumrørsolfanger /9/

En varmepumpe utnytter prinsippet som ble beskrevet om exergi og anergi ved at den utnytter en lavtemperatur energikilde, tilfører energi og øker eksergien slik at vi får en energikilde med høyere temperatur. Prinsippet er vist i Figur 3.



Figur 3 Prinsipp varmepumpe

Ytelsen til en varmepumpe er derfor svært avhengig av temperaturnivået både på varmekilde og varmemottak. Ytelsen til en varmepumpe uttrykkes gjerne som COP (Coefficient of performance). Den er forholdet mellom den mengde energi den leverer og tilført elektrisk energi. Carnot virkningsgraden er den teoretisk maksimale virkningsgrad en varmepumpe kan ha. En ser da bort fra systemtap og nødvendig pumpeenergi. Denne uttrykkes:

$$\text{COP} = E_h/X_h = T_h/(T_h - T_a)$$

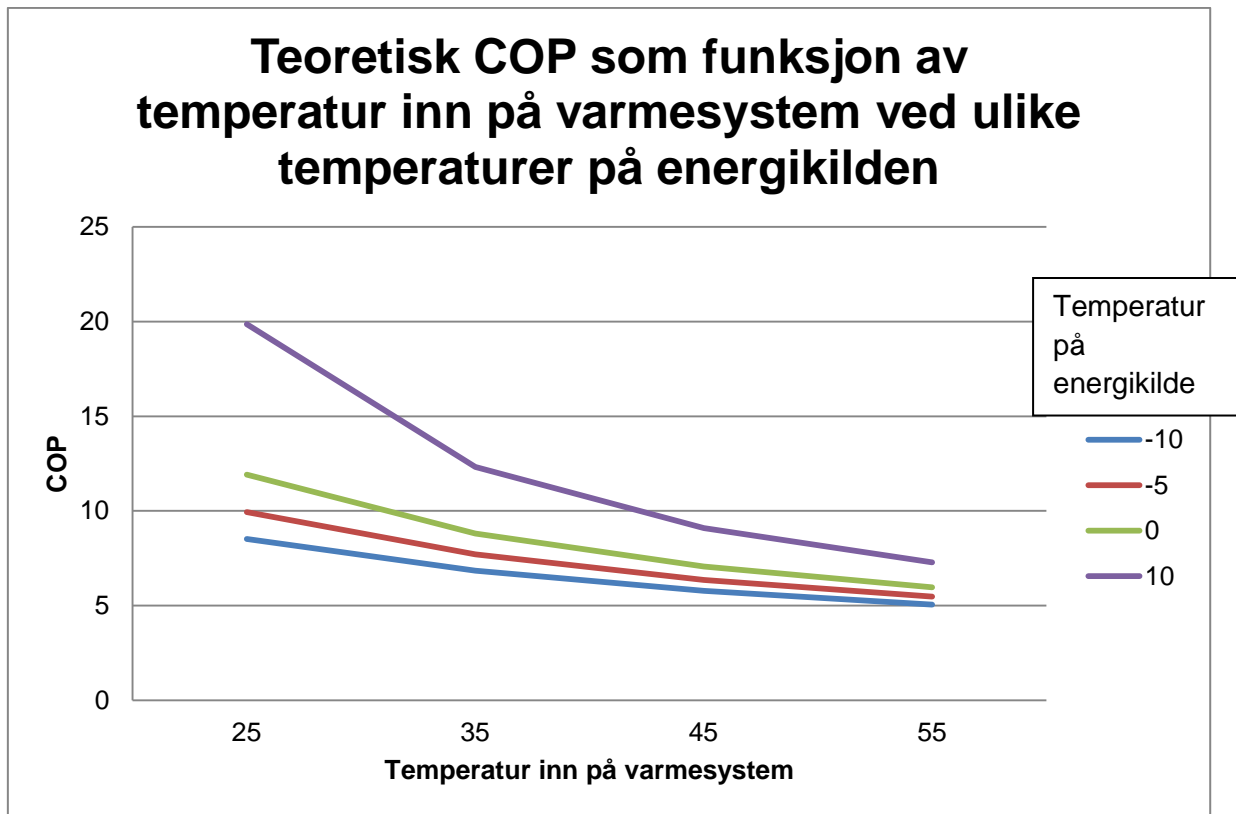
X_h = Tilført energi, dvs elektrisk energi til kompressor

E_h = Levert energi fra varmepumpa

T_h = Leveringstemperatur I Kelvin

T_a = Kildetemperatur I Kelvin

Denne sammenhengen er satt opp for ulike leveringstemperaturer til varmeanlegget som funksjon av kildetemperatur i Figur 4. Som det fremkommer av diagrammet er en lav temperatur på leveringen svært avgjørende for å oppnå en høy COP.



Figur 4 COP for varmepumpe for ulike leveringstemperaturer som funksjon av temperatur på kilde.

Varmepumpe benytter ofte jordvarme som energikilde ved at det bores 150 til 200 m dypt. Temperaturen varierer mye avhengig av lokal geologi. Den kan variere mellom 4 og 10 °C. Går en ned til 500 m dybde øker den til mellom 10 og 18 °C. Dersom en velger å bore dypere for å oppnå høyere kildetemperatur er det derfor gode muligheter for å oppnå svært god ytelse for varmepumper dersom en har lavtemperatur varmesystem.

Mange energisentraler med energibrønner benytter brønnene til å dumpe kjøling. Dersom en har et høytemperatur kjølesystem med turtemperaturer på f.eks 17 °C behøver en ikke kjølemaskin ved slike systemer og vil gi svært god ytelse på kjølingen. Samtidig hever det temperaturnivået i energibrønnen noe som vil føre til en betydelig økning i COP for varmepumpen dersom en har lavtemperatur varmesystem, se Figur 4.

Lavt temperaturnivå på varmeanlegg gir tilsvarende økte muligheter for utnyttelse av spillvarme fra prosesser ved direkte varmegjenvinning. Krever varmeanlegget høyere temperaturnivå enn spillvarmen kan temperaturen økes ved bruk av varmepumpe, men de krever igjen elektrisitet.

Varmepumper med svært høy COP vil være en bærebjelke i å få en betydelig reduksjon i energibruk til varme og kuldeformål. Som det fremkommer her er lavtemperatur varmedistribusjon en forutsetning for å oppnå høye COP verdier på varmepumper..

4.2.3 Bedret energieffektivitet med lavtemperatur varmeanlegg

Lavtemperatur varmeanlegg gir mulighet for økt bruk av varmepumpe, noe som i seg selv er energieffektivt.

Lavtemperatur varmesystemer får i tillegg betydelig redusert varmetap. Varmetapet drives av temperaturforskjellen på mediet og omgivelsene. Et tradisjonelt varmesystem har ofte en gjennomsnittstemperatur på 50 °C, mens et lavtemperatur gulvvarmesystem kan ha temperatur på 30 °C. Det lavtempererte gulvvarmesystemet vil ha 66 % lavere varmetap enn det tradisjonelle systemet kun ved endret temperaturnivå.

Det lavtempererte systemet vil også ha mindre treghet og bedre regulerbarhet ved at det til en viss grad vil være selvregulerende. Dersom en har et vannbåret system som avgir varme med en overflatetemperatur på 25 °C vil ha 0 varmeavgivelse ved en romtemperatur på 25 °C. Den relative forskjellen mellom et tradisjonelt og lavtemperert system er vist i Tabell 2. Som det fremkommer har det lavtempererte varmesystemet redusert varmeavgivelsen til 0 ved 25 °C, mens det tradisjonelle fortsatt avgir 83 % varme. Varmen i det tradisjonelle systemet avgis selv om termostaten er stengt og reduseres gradvis helt til vannet har samme temperatur som rommet. Dette fører til at en får større temperatursvingning og høyere energibruk til kjøling og evt ventilasjon ved det tradisjonelle sammenlignet med det lavtempererte systemet.

Overflatetemperatur på varmekilde	Romtemperatur	Effekt ved 20 °C	Økt romtemperatur til	Effekt ved økt romtemperatur
	°C	%	°C	%
25	20	100	25	0
50	20	100	25	83

Tabell 2 Avgitt effekt ved hhv 25 og 20 °C for et tradisjonelt og lavtemperert varmesystem.

Lavtemperatur systemer bidrar derfor samlet sett til betydelig forbedret energieffektivitet sammenlignet med tradisjonelle systemer.

4.2.4 Lavtemperatur varmeanlegg gir økt potensiale for utnyttelse av eksisterende infrastruktur

Forrige kapittel viste hvordan lavtemperatur varme gir mulighet for økt fleksibilitet og energieffektivitet i de enkelte bygg. Temperaturnivået har også en stor effekt på mulighet for tilkobling til nye og eksisterende nær og fjernvarmesystemer.

Det er grunn til å anta at det for fremtidige nær- og fjernvarmesystemer vil vil være ønskelig at de leverer til laves mulig temperaturnivå. Grunnene for det er de samme som for enkeltbygg.

En av utfordringene med vannbårenvarme er utbygging av kostbar infrastruktur. Lønnsomheten i utbyggingen er i tillegg til energiråvarepris sterkt avhengig av å ha stor tetthet av kunder. Tidligere ble både bygg og derfor også distribusjonsnettbygd med relativt høye returtemperaturer. I dag arbeides det kontinuerlig med å redusere returtemperaturen. Dersom man bygget hus med lavtemperaturvarme vil det gi mulighet for å utnytte allerede utbygd infrastruktur. De nye byggene kan koble seg på retursiden i de eksisterende nær eller fjernvarmesystem og det vil utnytte systemet bedre uten behov for økning av kapasiteten i nettet. Dette vil i sin tur komme alle abonnentene til gode ved mulig lavere pris på nær eller fjernvarmen. Det vil også øke effektiviteten i fjernvarmenettet ved redusert varmetap og pumpeenergi pr levert kWh. Krav om lavtemperatur varmesystem vil derfor medføre en betydelig kapasitetsøkning på allerede bygd infrastruktur.

Sverige har lang tradisjon på bruk av fjernvarme og fjernvarmen står for størstedelen av termisk varmeenergi i bygg i Sverige /1/. De har også lang praksis på å utnytte returvarmen i fjernvarmen. Svensk fjernvarme rapporterer om bruk av fjernvarmereturtemperaturer mellom 18 og 35 °C som benyttes til oppvarming av lavenergihus. For å varme tappevannet kobles varmepumpe på fjernvarmen og fjernvarmen utgjør da 74 % av energien til å varme tappevannet./10/. Videre fører lave temperaturer i fjernvarmenettet til bedre muligheter for bruk av fornybar energi sentralt samt høyere virkningsgrad på forbrenning.

Lavtemperatur varmeanlegg er en forutsetning for optimal og effektiv utnyttelse av de viktigste termiske energikildene:

- Varmepumpe
- Solenergi
- Spillvarme

Lavtemperatur varmeanlegg er en forutsetning for økt utnyttelse av eksisterende fjernvarme infrastruktur samt gir nye muligheter for utnyttelse av spillvarme og fornybar energi samt forbedrer ytelsen til fjernvarmesystemet.

4.3 Krav til energifleksibilitet i TEK

Lavtemperatursystemer øker den samlede systemeffektiviteten i energisystemet og reduserer (antakelig – avhengig av hva kostnadene ved vannbåret varme innebærer) samlede kostnader for samfunnet. Det vil også kunne bidra til bedre utnyttelse av elektrisitet fra fornybare kilder ved bruk av varmepumper og således bidra til at den produksjonen vi har av elektrisitet fra fornybare kilder kan dekke en større del av samlet energibehov.

Vi anbefaler at det for nybygg stilles krav til fremtidig høy grad av energifleksibilitet. Det anbefales at 100 % av netto termisk energi til nybygg gjøres energifleksible. Flexibiliteten bør omfatte oppvarming av tappevann, romoppvarming og ventilasjonsoppvarming. I tillegg bør tilsvarende krav stilles til gatevarmesystemer og systemer for badeanlegg. Følgende krav til vannbåret system kan eksempelvis tilfredsstille slik energifleksibilitet:

	Medie	Maksimum turtemperatur
Tappevann	væske	70 °C
Romoppvarming	væske	45 °C
Ventilasjonsvarme	væske	40 °C

Det er energimessig mer optimalt med enda lavere temperaturer, men samtidig vet vi at det er knyttet usikkerhet til om lave temperaturer vil gi uforholdsmessig store og kostbare anlegg. Erfaring tilsier imidlertid at varmeanlegg har vært overdimensjonert tidligere. Samtidig bår varmeeffekten ned med betydelig redusert varmebehov gjennom tettere og bedre isolerte boliger.

Dersom en ønsker å signalisere dette større potensialet tydeligere kan en alternativt gjennomføre en trinnvis innføring av et slikt krav ved at en i 2020 stiller krav til noe lavere temperaturer enn i f.eks 2015. Dette vil gi mulighet for å utrede nærmere riktig nivå for 2020.

Energifleksibilitet	2015	2020
% andel netto energi iht NS3031 som gjøres energifleksibelt	80	100
Andre anlegg som skal utføres energifleksible	Gatevarme	Gatevarme, Svømmeanlegg

		Maksimum turtemperatur	
	Medie	2015	2020
Tappevann	væske	70 °C	65
Romoppvarming	væske	45 °C	35
Ventilasjonsvarme	væske	40 °C	35

NOTAT

Potensiale for miljømessig gevinst og økonomisk konsekvens av valg av % energifleksibilitet og temperaturnivå bør dokumenteres nærmere.

Potensialet for energieffektivitet ville høynes ytterligere dersom en stilte analoge krav til energifleksibilitet på kjøling.

Unntak kan vurderes innført for små bygg med spesielt lite behov for varme og kjøling.

5. TEORETISK BEREGNET OG VIRKELIG ENERGIBRUK

Det opereres med svært mange begreper knyttet til energibruk i bygg. Noen er godt definert, mens andre gir vidt tolkningsrom. Eksempler på det første er begreper som netto, levert og virkelig energibruk, og eksempler på det andre er begreper som nesten nullenergi, nullenergi og plusshus.

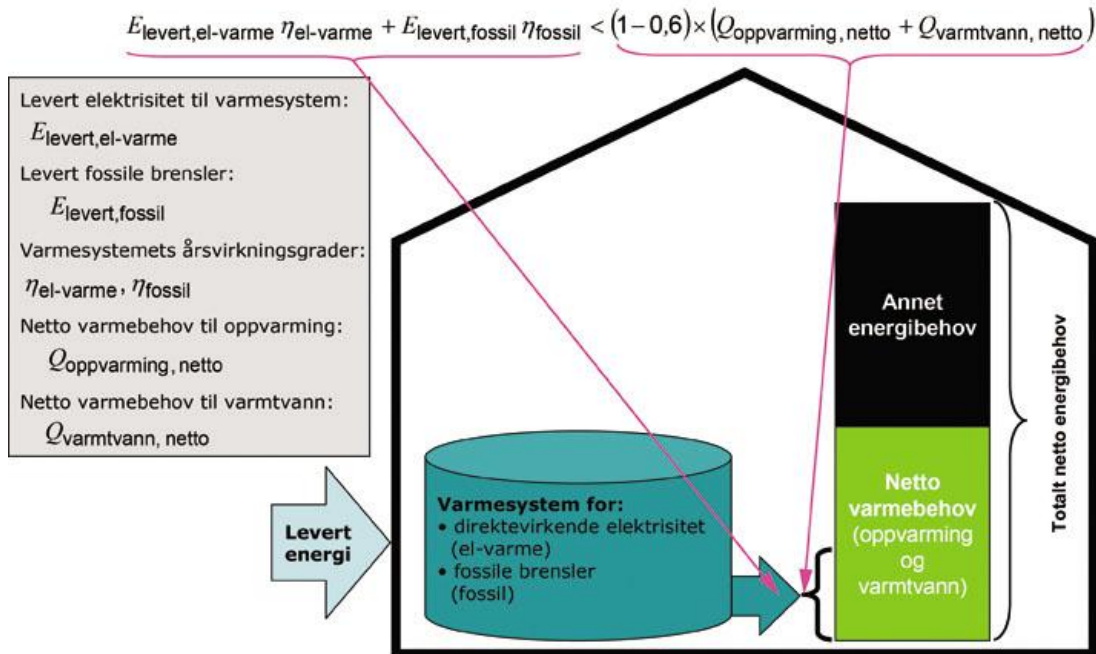
- Netto energibruk er den energibruken som de enkelte rom og systemer har behov for. Denne er uavhengig av energiforsyningsystem
- Levert energi er den energien som kreves for å levere energi til et bygg og oppfylle netto energibehov. Denne tar hensyn til systemtap og virkningsgrader på energiproduksjon (eksempelvis virkningsgrad på forbrenningsanlegg (olje/gass/bio) o varmepumper).

I Norge har vi i dag følgende:

- TEK 10 forskrifter som stiller krav til netto energibruk. I tillegg er det et energiforsyningskrav som stiller krav til at en andel av netto varmebehov ikke skal være direkte el eller fossil energi, se Figur 5 ./20/
- Passivhusstandard (NS3700 og NS3701) som stiller krav til netto energi. For levert varmeenergi gjelder samme krav som i TEK for yrkesbygg, mens det er skjerpet for bolig i forhold til forskrift.
- Energimerkeordning som stiller krav til levert energi.

Krav til energiforsyning over 500 m² oppvarmet BRA

Minimum 60 % av netto varmebehov skal kunne dekkes med annen energiforsyning enn direktevirkende elektrisitet eller fossile brensler hos sluttbruker.



Figur 5 Figur i Veiledning til TEK 10 som illustrerer energiforsyningskravet //

Passivhusstandarden har to nivåer, hhv passivhus og lavenergibygning. Den er innrettet for å gi en vesentlig reduksjon i netto energibruk i forhold til forskriften på det tidspunkt den ble innført.

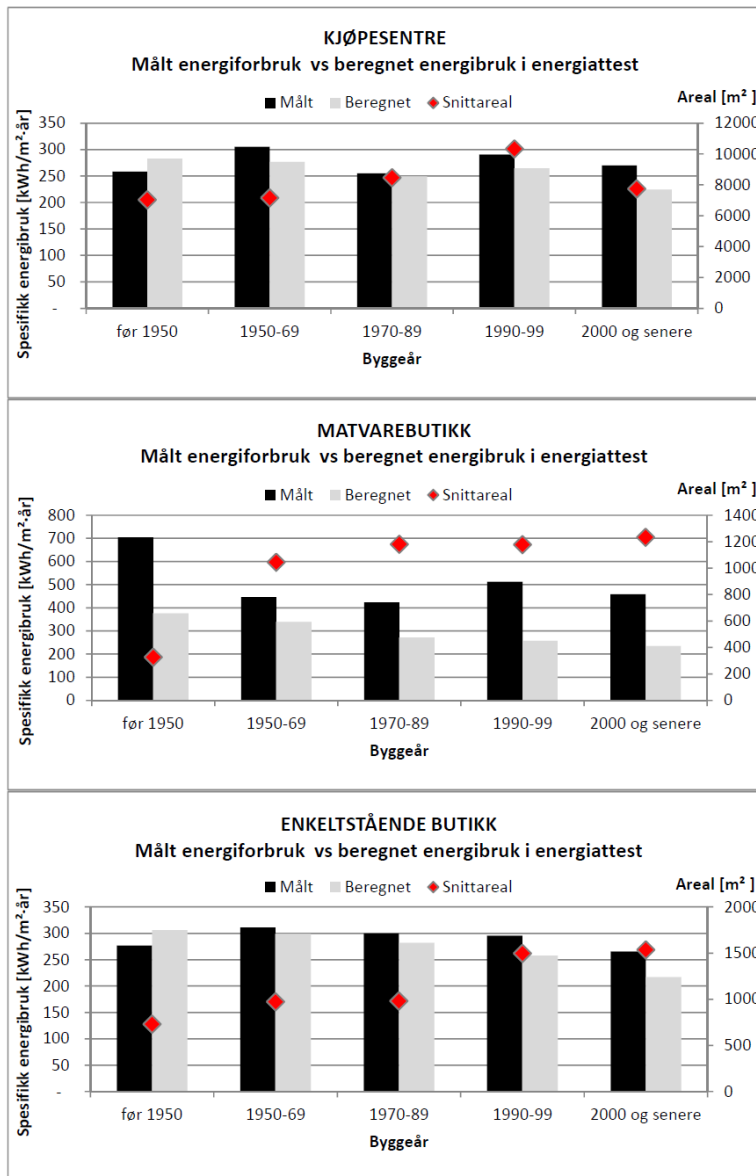
5.1 Metoder for dokumentasjon av netto, levert og sannsynlig virkelig levert energi

Det er pr i dag ingen forskrift eller retningslinje for hvordan en skal dokumentere forventet virkelig energibruk. Beregnet levert energi med riktige virkelige forutsetninger skulle gi et riktig tall på forventet virkelig energibruk. Virkelig energibruk må ikke sammenlignes med energibruk beregnet for å dokumentere i forhold til forskrift eller passivhusstandard da disse er for netto energibruk og standardiserte og idealiserte driftsforutsetninger. NS 3031 *Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data* er imidlertid en standard som kan benyttes for formålet, men en må velge realistiske inndata og ikke standardverdier. Netto energibruk uttrykker summen av det behovet en har for ulike energiformål i de enkelte rom. Denne energimengden er derfor ikke mulig å måle, da den ikke inneholder tap. Forventet virkelig energibruk må derfor regnes som levert energi med mest mulig riktige forutsetninger.

5.2 Virkelig målt energibruk i bygg

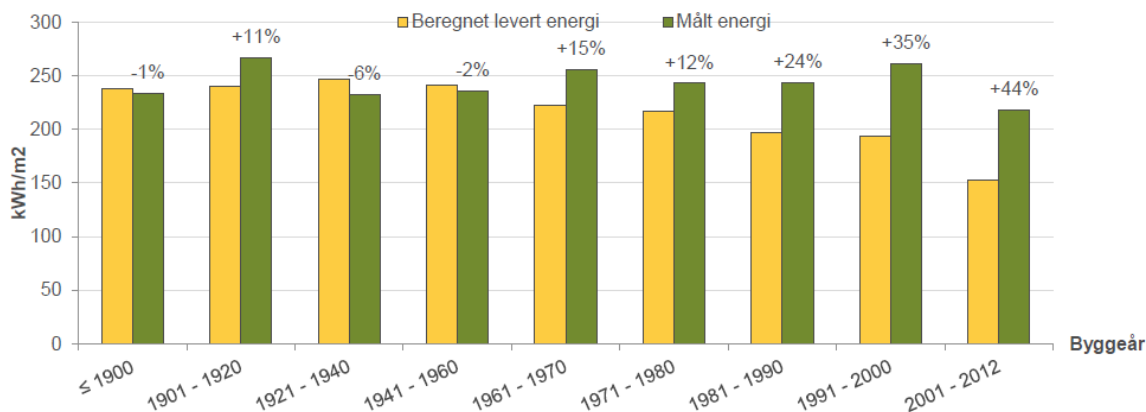
Det er svært mangelfull statistikk på energibruk til termisk energi i bygg i Norge i dag. En har derfor et svært usikkert underlag både på samlet behov nasjonalt og fordelt på ulike typer bygg. Fjernvarmeforeningen anslår at varmemarkedet i dag er i størrelsesorden 50 TWh. Manglende statistikk på virkelig energibruk kan føre til for stor tro på teoretisk beregnede tall.

Mange byggeiere, som får nye bygg, blir overrasket over at byggene deres bruker vesentlig mer enn de hadde forventet. De har kanskje valgt et energimerke bedre enn standarden, men opplever at virkelig energibruk er høyere enn det energimerket skulle tilsi. Det er begrenset med erfaringstall på dette, men noe finnes. Tall fra energimerkeordningen er vist i Figur 6 for butikker, matbutikker og forretningsbygg og Figur 7 for kontorbygg. Tallene viser total energibruk, ikke bare varme. Som det fremkommer av figurene er virkelig energiforbruk til dels betydelig høyere enn teoretisk beregnet for alle kategoriene bygg. For matvarebutikker er avviket svært stort. For kontorbygg er avviket økende for nyere typer bygg. Slik det fremkommer av dette utvalget er det ikke et sammenfallende avviksmønster for de ulike kategoriene. Årsakene til avvikene kan derfor synes å være ulike for de ulike bygningskategoriene.



Figur 6 Beregnet og målt energibruk i butikker, matbutikker og kjøpesentre. Tall fra energimerkeordningen. Tallene viser total energibruk, ikke bare varme. /6/

Figur 4.5: Beregnet og målt spesifikk energibruk per byggeperiode (arealveid)



Kilde: Energimerkeordningen (2012), THEMA Consulting Group

Figur 7 Beregnet og målt energibruk i kontorbygg. Tallene viser total energibruk, ikke bare varme.. Tall fra energimerkeordningen /5/

/5/ kommenterer følgende for kontorbygg:

Årsak til avvik er:

Beregningene er basert på normative bruksverdier, som brukes som grunnlag for energiberegningene (f.eks. innetemperatur, varmetilskudd fra utstyr, persontetthet, energibehov til varmt tappevann, utstyr, bruks- og driftstider). Disse normtallene vil ofte avvike fra virkelig, brukeravhengig energibruk.

Avvik mellom hvilket teknisk utstyr som er installert i bygget og det som er lagt til grunn i beregningene. Et eksempel på dette er at det ofte installeres energikrevende kjøling, noe som ikke er lagt til grunn i tekniske forskriftskrav.

Ikke optimal oppføring eller drift av bygget – noe som er forutsatt i beregningen

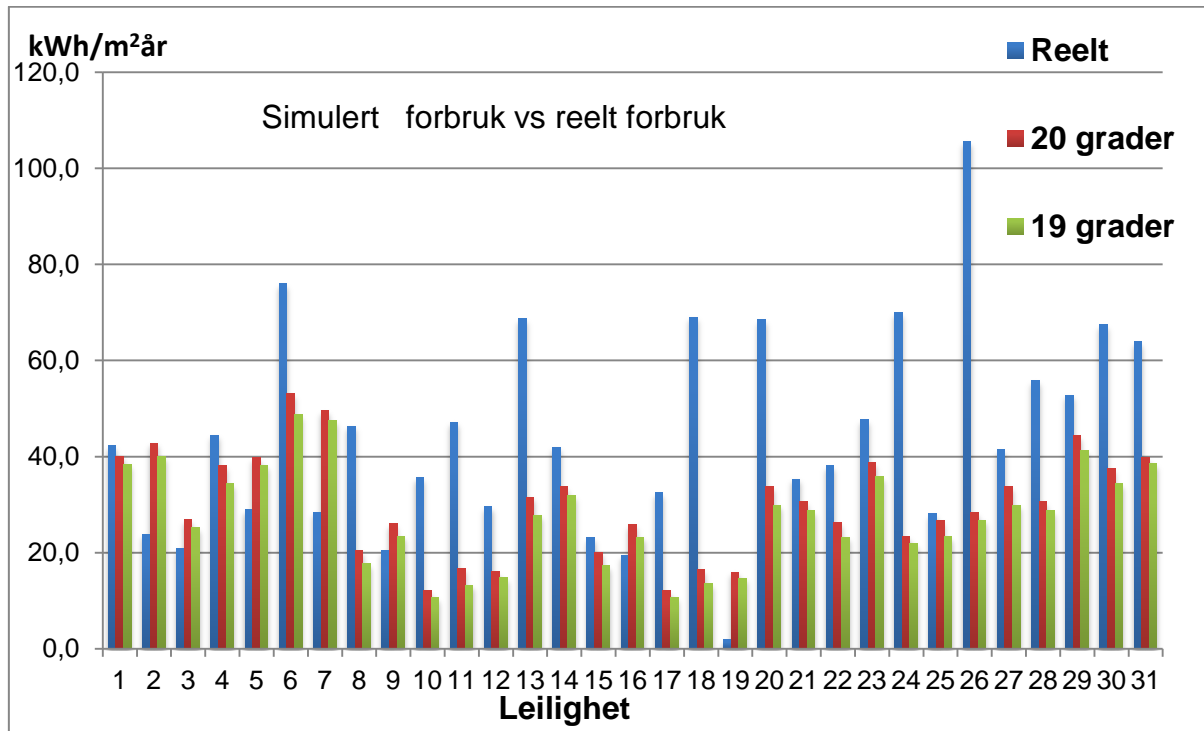
Beregningene er basert på normative klimaforhold (normaltemperatur på Blindern i Oslo). Faktiske klimaforhold varierer fra år til år og mellom ulike deler av landet. Dette gjelder både temperatur, fuktighet og vind som alle påvirker faktisk energibruk i et bygg.

Manglende måling av energibruk eller feil i oppgitte måledata. Det er i dag ingen konkrete standarder for hvordan energibruk skal måles.

Et økende avvik mellom målt og beregnet spesifikk energibruk, bidrar til at det er krevende å si noe om hvordan den faktiske energibruken utvikler seg som følge av fortsatt innstramminger i energirammer for kontorbygg

Det er sannsynlig at de beskrevne årsakene kan gjelde for alle byggkategorier. I tillegg kan en mangelfull eller feilaktig modellering av bygg og tekniske systemer være en årsak til avviket.

Virkelig kontra teoretisk energibruk til varme er undersøkt i et leilighetsbygg på Fornebu. /7/. Leilighetene er bygget etter TEK 10 og har fjernvarme.



Figur 8 Reelt forbruk kontra simulert forbruk til romoppvarming og ventilasjonsluft i leiligheter bygd etter TEK 10./7/

Resultatene viser også her stor variasjon og stedvis store avvik. Noen av årsakene til avvikene som studentene dokumenterte var forhold som at oppvarming av bad hele året til en høyere temperatur enn resten av bygget samt tørking av fukt i bad ikke var ivaretatt i standarden for beregning av energibruk i boliger.

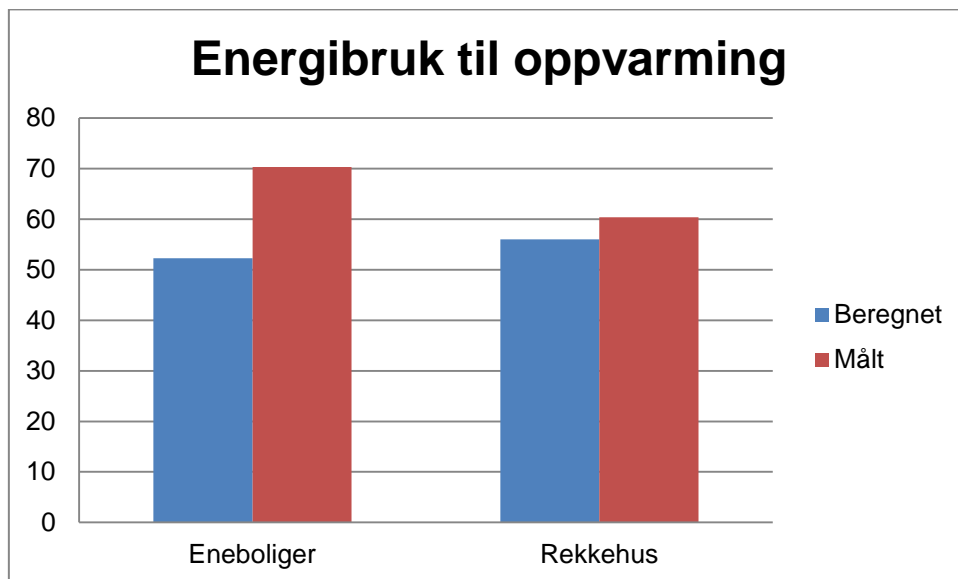
Studentene undersøkte også beboernes tilfredshet med varmeløsningene. Rapporten /7/ skriver følgende:

Undersøkelsen viste at vannbåren oppvarming var den foretrukne løsningen i stuen, men på badet var det delte meninger. Det er ingen forskjell mellom beboeres vurdering av elektrisk eller vannbåren oppvarming på badet. Omtrent halvparten uttrykte misnøye med reguleringen. Dette ser ut til å skyldes en forventning om hurtig regulering, som mer skyldes treghet i gulvvarme som sådan, enn hvilken løsning som avgir varmen.

Statkraft har samlet noen av sine erfaringer med energibruk til fjernvarme i passivhus /8/. Området besto av 17 eneboliger og 45 rekkehus. Husene har fjernvarme til romoppvarming

og tappevann og elvarme til oppvarming av ventilasjon. De har ikke målinger på elbruken til ventilasjonen og badet. Energibruk til ventilasjon ble estimert til 5 kWh/m² i /8/ og er forutsatt som et estimat i virkelig energibruk. Det er Erichsen & Horgen AS sin vurdering er at det er et lavt anslag. Det er ikke tatt hensyn til at badene har eloppvarming. Det «estimerte virkelige energiforbruket» kan derfor anses å være lavere enn det vi ville fått ved måling av alt termisk energibehov.

Resultatene er vist i Figur 9. Energibruken til termisk energi er 34% høyere enn beregnet for eneboligene og 8 % høyere for rekkehusleilighetene.



Figur 9 Virkelig og teoretisk energibruk til oppvarming i passivhus i Trondheim. Ventilasjon er estimert til 5 kWh/m² i estimert. Målingene inneholdt ikke eloppvarming på bad.

Rapporten sammenligner også fjernvarmenergiforbruket i disse boligene med eneboliger i et annet felt bygget etter TEK 07. Passivhusene har 12,5 kWh/m² lavere fjernvarmeforbruk enn eneboligene bygget etter TEK 07.

Svært mange boligeiere i Norge har installert luft – luft varmepumpe i de senere årene. SSB har undersøkt hvem som har gjort det og hva det gjør med strømforbruket. /19/ Resultat viste at ca en fjerdedel av husholdningene har varmepumpe, men at strømforbruket er det samme i disse husholdningene som i andre husholdninger. Årsaken til dette oppgis å være at disse husholdningene har en høyere innetemperatur (økt komfort), bruker mindre ved og olje og gjennomfører færre energisparetiltak.

Oppsummering av det som er funnet av virkelig energibruk i bygg er at både total energibruk og energibruk til termiske formål er høyere i virkeligheten enn det som beregnes i de undersøkte byggene.

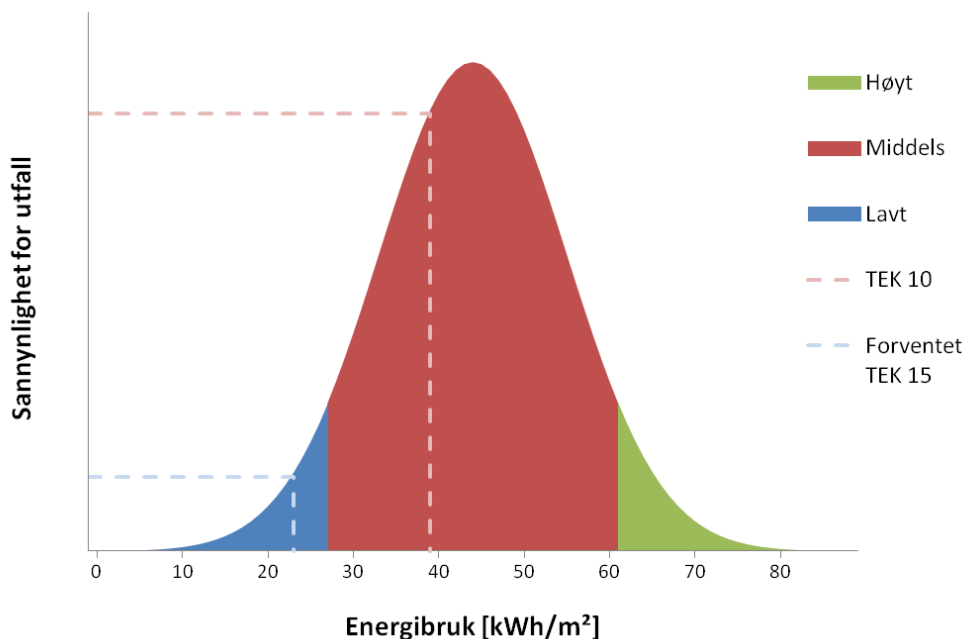
Energibehovet for termisk energi til oppvarming er betydelig, også i passivhus boliger. Undersøkelsene sier ingen ting om termisk energibehov til varme i yrkesbygg. På bakgrunn

av disse funnene kan det være grunn til å forvente et betydelig energibruk til termisk varmeenergi i bygg også i fremtiden.

5.3 Beregnet virkelig kontra teoretisk energibruk

Det har vært hevdet at det ikke er behov for oppvarmingssystem i moderne passivhusboliger. Det hevdes også at varmesystemet i fremtidens bygg gjerne kan være elektrisk fordi behovet er så lite. Undersøkelsene som er beskrevet i foregående kapittel tyder imidlertid på at termisk behov for varme til dels fortsatt er høyt.

Som beskrevet i forrige kapittel er det en rekke mulige årsaker til at virkelig energibruk blir høyere enn teoretisk beregnet. I realiteten er verdiene beregnet iht standardene svært lite sannsynlige å oppnå fordi de forutsetter en lite sannsynlig virkelighet. Vi har tatt utgangspunkt i passivhusmodellene for boligblokker og kontor og justert forutsetningene i retning av mer sannsynlige inndata. Det er begrenset med underliggende undersøkelser av forutsetninger, men det som finnes gir visse indikasjoner. Vi angir så et sannsynlig utfallsrom for energibruken.



Figur 10 Sannsynlig utfallsrom for virkelig netto behov for termisk energi til oppvarming av rom, ventilasjon og tappevann for kontor, når det tas hensyn til usikre parametere, jo høyere verdi på x-aksen jo større energibruk til varme og jo høyere verdi på y-aksen jo større sannsynlighet

Vi angir ingen konkrete verdier på sannsynlighetene da statistisk underlag er for lite. Vi argumenterer imidlertid for hva vi mener er sannsynlige verdier på parametere og benytter det i analysen.

5.3.1 Bolig

Det er tatt utgangspunkt i modellen som er benyttet til utvikling av TEK 10, denne er så kalibrert slik at den akkurat oppfyller passivhusstandarden. Vi har så lagt på en sannsynlig pakke med justerte forutsetninger. Disse er:

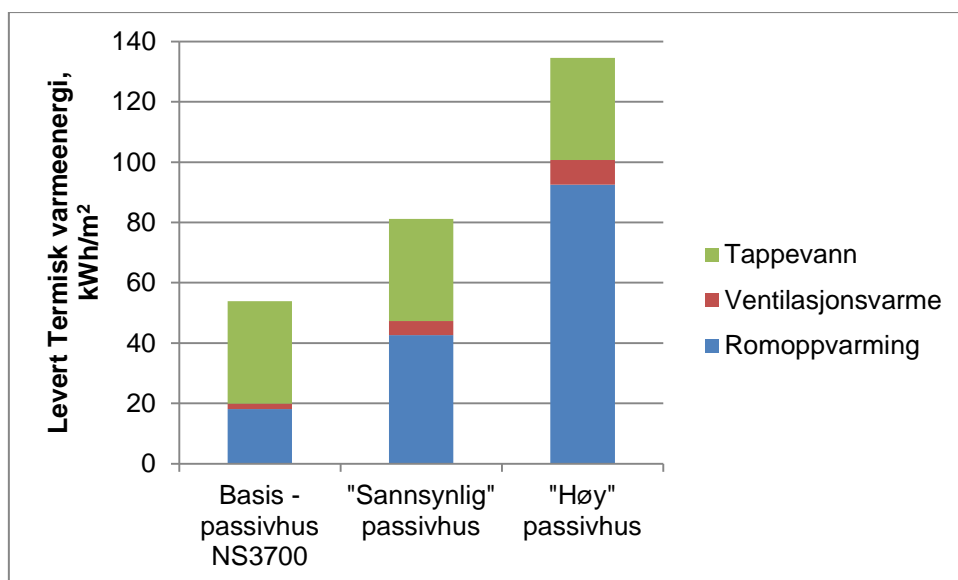
«Sannsynlig passivhus boligblokk»

- Lavere virkningsgrad på gjenvinner 72% i stedet for 82%
- Innetemperatur på 21,5°C hele døgnet i stedet for 21 °C på dagen og 19 om natten.
- Høyere innetemperatur på bad enn øvrige rom 25°C i stedet for 21 °C på dagen og 19 om natten.
- 10 % dårligere bygningsfysiske parametere, eks U-verdi vindu 0,9 i stedet for 0,8 W/m²C.
Ventilasjonsluftmengde på 2,4 m³/m²h i stedet for 1,2 m³/m²h
- Vinduslufting

«Høy passivhus boligblokk»

- Tilsvarende som «Sannsynlig passivhus boligblokk» med følgende justeringer:
- Innetemperatur på 23°C hele døgnet i stedet for 21 °C på dagen og 19 om natten.
- Høyere innetemperatur på bad enn øvrige rom 26°C i stedet for 21 °C på dagen og 19 om natten.
- Ventilasjonsluftmengde på 3,6 m³/m²h i stedet for 1,2 m³/m²h

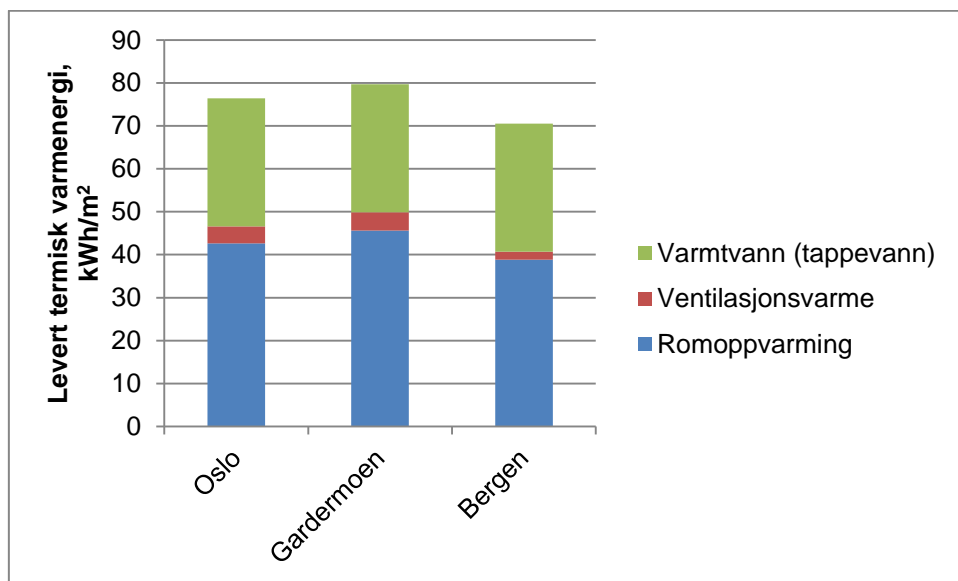
Dette ga resultat på levert energi (se kapittel0) som vist i Figur 11



Figur 11 Utfallsrom for levert energi til oppvarming av rom, ventilasjon og tappevann for passivhus boligblokk

I disse beregningene har vi ikke endret tappevannsbehovet i forhold til standarden. Netto energi til tappevann er der 30 kWh/m². Det angis i dag i standarden som arealavhengig. Undersøkelser gjort bl.a av 40 leiligheter i Sverige med varierende størrelse /21/ tyder på at standardverdien som brukes i Norge er høy og at variasjonen er like stor som ca 2/3 deler av gjennomsnittsverdien. Det varierer i mao virkeligheten sterkt og er mer personavhengig enn arealavhengig.

Standard beregningene utføres for Oslo, mens energibruk til oppvarming av rom og ventilasjon er klimaavhengig. Eksempler på lokale variasjoner er illustrert i Figur 12. Dette vil gi tilsvarende utslag i virkelig energibruk på de ulike steder i landet.



Figur 12 "Sannsynlig energibruk" passivhus boligblokk for ulike klima

Beregningene understøtter de målinger som er gjort på boliger og viser at det også i fremtiden sannsynligvis vil bli et betydelig behov for energi til oppvarming av rom, ventilasjon og tappevann.

5.3.2 Kontor

Det er tatt utgangspunkt i modellen som er benyttet til utvikling av passivhusstandarden, denne er så kalibrert slik at den akkurat oppfyller standarden. Vi har også her lagt på en sannsynlig pakke med justerte forutsetninger. Disse er:

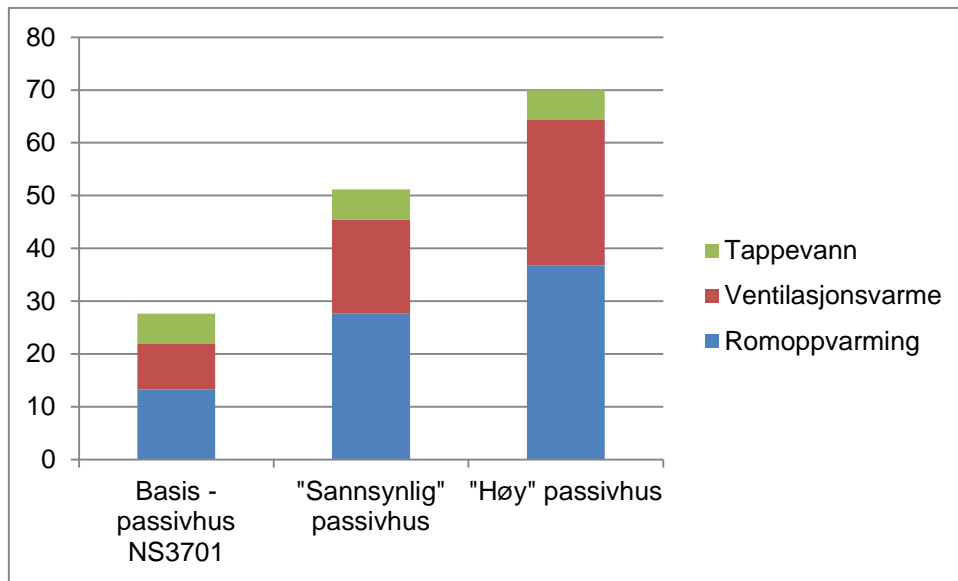
«Sannsynlig passivhus kontor»

- Lavere virkningsgrad på gjenvinner, 72% i stedet for 82%
- Innetemperatur på 21,5°C hele døgnet i stedet for 21 °C på dagen og 19 om natten.
- Noe dårligere bygningsfysiske parametre (10 % forverring)
- Det brukes VAV med luftmengden 6 – 15 m³/m²h og settpunkt for romoppvarming settes til 21,5 °C og VAV til 22 °C
- Økt internlast, Brukstider for varmelaster settes til 8-16 og belysning utenfor drift settes til 0,5 W/m². I tidsrommet 10-12 og 13-15 dobles varmelastene fra personer og utstyr.
- Solskjerming med g-verdi 0,15
- Vinduslufting

«Høy passivhus kontor»

- Tilsvarende som «Sannsynlig passivhus kontor» med følgende justeringer:
- Høyere innetemperatur (23°C til oppvarming, 23,5 °C på VAV)
- Det antas at avkastluften brukes til ventilering av frostfri kjeller og kjøkken har direkte avkast over tak. Det inkluderes derfor en frostsikringstemperatur på 4 °C på varmegjenvinneren og 5 % av luften kastes direkte over tak.

Dette ga resultat på levert energi som vist i Figur 13.



Figur 13 Utfallsrom for levert energi til oppvarming av rom, ventilasjon og tappevann for passivhus kontor

Bemerk at vi i disse beregningene ikke har endret tappevannsbehovet i forhold til standarden selv om det er en kjensgjerning at dette kan variere mye avhengig av bruken.

Beregningene viser at det også i fremtiden sannsynligvis vil bli et betydelig behov for energi til oppvarming av rom, ventilasjon og tappevann.

5.4 Energibruk til oppvarming og tappevann i fremtidens bygg

Selv om forskriftene sørger for stadig mer energieffektive bygg vil vi i fremtiden også ha behov for både varme og kjøling i de enkelte rom.. Løsningen for å imøtekomme dette ligger i å sørge for effektiv energiforsyning og produksjon. Det er derfor viktig å tilrettelegge for energieffektive energiforsyningssystemer slik at de kan tas i bruk etter hvert som de utvikler seg.

Et hovedgrep for å tilrettelegge for energieffektive energiforsyningssystemer er å sørge for energifleksible varmedistribusjonssystemer i byggene.

5.5 Eksempler på definisjoner av Nullenergihus og plussus

Begrepene nullenergihus og plussus har sitt utspring i Bygningsenergidirektivet /4/. Den siste utgaven av direktivet gjelder ennå ikke for Norge. Direktivet har allikevel vært sterkt førende for forskning og utvikling innen byggsektoren de senere år. Direktivet angir følgende:

Article 2

Definitions

2. 'nearly zero-energy building' means a building that has a very high energy performance, as determined in accordance with Annex I. The nearly zero or very low amount of energy required should be covered to a very significant extent by energy from renewable sources, including energy from renewable sources produced on-site or nearby;

Article 9

Nearly zero-energy buildings

1. Member States shall ensure that:

(a) by 31 December 2020, all new buildings are nearly zero- energy buildings; and

(b) after 31 December 2018, new buildings occupied and owned by public authorities are nearly zero-energy building

.

5. The Commission shall by 31 December 2012 and every three years thereafter publish a report on the progress of Member States in increasing the number of nearly zero-energy buildings. On the basis of that report the Commission shall develop an action plan and, if necessary, propose measures to increase the number of those buildings and encourage best practices as regards the cost-effective transformation of existing buildings into nearly zero-energy buildings.

Direktivet stiller mao krav til «nesten nullenergi» både for nye og eksisterende bygg. Som det fremgår av teksten innebærer dette kravet også et krav om at den lille energien som behøves i all hovedsak skal være fornybar energi produsert i eller i nærheten av bygget. Hva som er i nærheten er imidlertid ikke definert. Annex 1, kapittel 4 i direktivet sier imidlertid at

The positive influence of the following aspects shall, where relevant in the calculation, be taken into account:

(a) local solar exposure conditions, active solar systems and other heating and electricity systems based on energy

from renewable sources;

(b) electricity produced by cogeneration;

(c) district or block heating and cooling systems;

(d) natural lighting

Direktivet er slik det fremkommer nokså vid i sin definisjon av kontrollvolumet for hva som skal være nesten nullenergi. Det er ikke fast definert hva som er «nearby» dvs den definerer ikke hvor store energinett som fører til at energiproduksjonen faller utenfor. Den oppfordrer også til å ta hensyn til positive effekter fra f.eks fjernvarme og –kjølesystem.

Det finnes pr i dag ikke noen nasjonal definisjon på «nesten 0 energi», men det finnes en stor mengde rapporter og prosjekter med ulike definisjoner. I det følgende er det gitt eksempler på ulike definisjoner som verserer. Det er viktig at en i det videre arbeidet med utvikling av en slik definisjon for Norge tar hensyn til de spesielle forhold som råder med god tilgang på fornybar elektrisitet og fjernvarmeenergiproduksjon.

ENOVA oppgir følgende definisjoner:

- **Passivhus**
Et passivhus trenger bare rundt halvparten av energien sammenlignet med en bolig fra 2010. Bakgrunnen for navnet passivhus, er at man tar i bruk passive tiltak som gjør at huset holder best mulig på varmen. Varmetapet er senket til et minimum gjennom en særdeles godt isolert og vindtett bygningskropp, superisolerte vinduer og bruk av balansert ventilasjon med høyeffektiv varmegjenvinning. Samtidig blir solvarme utnyttet på en effektiv måte ved at vinduene orienteres mot solen.
- **Nullhus**
Et nullhus kan ha solcellepanel, solfanger og/eller varmepumpe, og produserer like mye energi som det totalt har behov for per år. Et nullhus skal også være karbonnøytralt når det gjelder utslipp fra materialer, riving og byggeprosess.
- **Plusshus**
Et plusshus skaper mer energi gjennom sin levetid enn det som ble brukt til produksjon av byggevarer, oppføring, drift og riving av bygget. Produsert energi fra solfangere, varmepumper, vindmøller og solcellepanel utgjør mer enn huset trenger til oppvarming, varmtvann, elektrisk utstyr og belysning totalt over året.

For Norske forhold finner vi følgende relevante definisjoner definert i rapporten /3/ «Nesten nullenergibygg – Forslag til nasjonal definisjon» utarbeidet av Rambøll for DIBK i november 2013:

Forskningssenteret Zero Emission Buildings (ZEB) har utviklet flere arbeidsdefinisjoner for nullutslippsbygg, herunder definisjoner hvor også energi i driftsfasen inngår. Systemgrensene er satt forskjellig i de ulike definisjonene og er definert som følger:

- ZEB-COM: Endelig ZEB-ambisjon, der utslipp av klimagasser fra konstruksjonsprosess, materialer og drift er tatt hensyn til.
- ZEB-OM: Ambisjon der utslipp av klimagasser ved både drift og materialer tas med, men der utslipp fra konstruksjonsprosess holdes utenfor
- ZEB-O: Ambisjon der utslipp av klimagasser fra all drift tas hensyn til, men der utslipp fra materialer og konstruksjonsprosess holdes utenfor.
- ZEB-O÷EQ: Som ZEB-O men der man trekker fra/ikke tar hensyn til energibruk til utstyr (som definert i NS3031).

Rapporten konkluderer med følgende anbefaling:

«Nesten nullenergibygg for norske forhold skal ha 70 % lavere energibruk enn TEK10 (gjeldende forskriftsnivå). Energibruk beregnes som netto levert energi til bygget. Energivarer vektet i henhold til klimapåvirkning eller fornybar andel.»

Med netto levert energi menes her differensen mellom energi levert til og fra bygget. Det er grunn til å merke seg at det ikke foreligger noen økonomiske vurderinger av lønnsomhet i å kreve 70 % reduksjon i forhold til TEK10.

Flere pågående prosjekter har basert seg på ZEB-O-EQ.

Hovedgrepene for deres løsninger er ofte følgende:

- Passivhusprinsippet
- Lavtemperatur varme og høytemperatur kjøling
- Termisk energisentral med høy COP på varme og kjøling – dvs varmepumpeløsninger
- Energiproduksjon av solceller på tak og fasade

/3/ diskuterer også forståelsen av lokalt produsert fornybar energi. Hvilke systemgrenser skal settes for lokalt produsert fornybar energi? Gjelder dette kun energi produsert på tomten? Kan det tilføres tomten for eksempel pellets for bioenergi produsert på tomten? Kan fjernvarme godskrives som lokalt produsert fornybar energi?

Med basis i at det norske kraftsystemet er basert nær 100 % på fornybar energi og at fjernvarmen nærmer seg samme mål, er det grunn til å stille spørsmål ved målet om hvorvidt lokalt produsert fornybar energi er et relevant begrep for Norge. Det kan være rasjonelt på kontinentet der de største mulighetene for fornybar energi antakelig ligger i sol på tak og varmepumper.

Dette er svært viktig problemstillinger for oppnåelse av nær-nullenergi særlig hvis det planlegges bygninger på små tomter, med utfordrende grunnforhold, i tett bebyggelse eller i et område hvor det allerede er etablert fjernvarme.

Rapporten konkluderer slik på systemgrense for energiproduksjon:

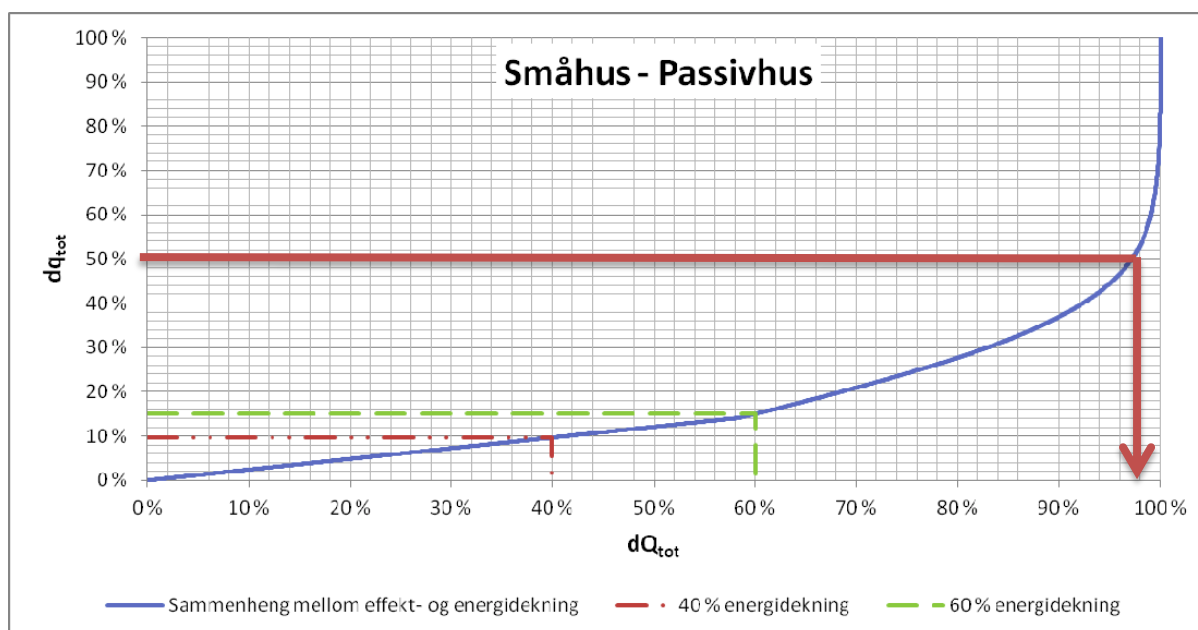
Lokal energiproduksjon bør når det gjelder termisk energi, defineres som avgrenset nett der man kan føre kontroll med energimiksen, herunder fjern- og nærvarme. Dette innebærer at for termisk energi vil lokal fornybar energiproduksjon, i tillegg til produksjon i bygg og på tomten, også inkludere fjern- og nærvarme.

Uansett utfall på definisjon av NZEB vil disse byggene ha både varme- og kjølebehov i rom. Dette behovet må dekkes av en forsyning. Dersom de skal bli nullenergi eller nullutslippsbygg må de ha en svært energieffektiv energiproduksjon i tillegg. Nøkkelen til et slikt fremtidig system som kan utvikles ligger i energifleksibilitet i byggene. Med energifleksible energidistribusjonssystemer vil byggene kunne benytte seg av den til enhver tid mest optimale energiteknologi.

6. VARMEFORSYNING I BYGG I FORHOLD TIL DET KOLLEKTIVE ENERGISYSTEMET

6.1 Hvordan dekker vi spisslasten?

Svært mange energisentraler som bygges i dag baserer seg på varmepumpe som grunnlast, og i noen tilfeller benyttes solenergi. De har alle til felles at de maksimalt dekker en begrenset del av dimensjonerende effekt om vinteren. Varmepumpe dekker normalt opp til ca 50% av maksimal effekt. Solvarme derimot har null dekning av varmebehovet ved dimensjonerende forhold – dvs på den kaldeste dagen på vinteren. Når varmepumpa dimensjoneres for å dekke 50 % av det maksimale effektbehovet, dekker den mesteparten av energibehovet. Det er utført beregninger av energidekning for ulike effekter for boliger, kontor og barnehage i /11/. Figur 14 viser sammenheng mellom installert effekt og energidekning for en passivhus bolig. Beregningene er basert på forutsetningene i standardene. Figuren viser at en varmepumpe som dekker 50 % av effekten til tappevann, romoppvarming og ventilasjon vil dekke ca 97 % av energibehovet over året. Dette gir muligheter for god driftsøkonomi for varmepumpa. Forholdene vil være noenlunde tilsvarende for større bygg.



Figur 14 Nødvendig effekt som funksjon av energidekning når effekt dekker romoppvarming, ventilasjon og tappevann

Bygningen har imidlertid fortsatt behov for den resterende 50 % effekten for å holde huset varmt i de kaldeste periodene. Denne effekten leverer da ca 3 % av energien. Den effekten blir som regel dekket med elektrisitet, fjernvarme, gass eller olje. Dersom løsningen er varme fra en gass- eller oljekjel må brukeren investere i en relativt stor kjelinstallasjon som leverer lite energi. Energiprisen fra denne vil derfor bli høy. Henter man effekten fra kraftnettet eller fra fjernvarmenettet må disse nettene dimensjoneres for det høye effektbehovet – det koster også penger og disse kostnadene tar nettselskap og fjernvarmeselskap betalt for gjennom sine tariffer. For store bygg kan dette innebære store effektbehov. I arbeidet med utfasing av oljefyring er det derfor åpnet for unntak – dvs at man kan beholde oljefyringsanlegg for spisslast ved store anlegg, men det er ikke angitt noen effektgrense for dette. Lokale olje og gasskjeler gir ofte lokal utslipp som er uønsket. Fjernvarme og elkjeler er alternativer som reduserer denne lokale belastningen. Dersom effekttoppen hos den enkelte bruker i et område som har fjernvarme dekkes av fjernvarme vil det gi en større fleksibilitet for det samlede energisystemet enn om den dekkes av elektrisitet fordi fjernvarmesystemet har mulighet til å hente varme fra flere kilder. Men det krever altså at byggene har vannbårne varmesystemer. Dersom fjernvarmesystemet bruker olje, gass eller bioolje, så er det en bedre løsning enn om hvert enkelt bygg har sitt anlegg fordi fjernvarmesystemene har vesentlig bedre teknologi til å redusere lokale utslipp som ofte er et problem i bystrøk der fjernvarme er utbredt. Uten vannbårne varmesystemer blir man da avhengig av kraftnettet som i slike perioder allerede er tungt belastet. Kostnadene både for elforsyningen og fjernvarmeforsyningen ved å levere effekt i de kaldeste periodene er høye, noe som reflekteres i de tariffene selskapene har for effekt.

6.2 Valg av varmesystemet og konsekvenser for utslipp

Svært mange byer i Norge har betydelige utfordringer med forurenset uteluft om vinteren. Årsakene til dette er gjerne en kombinasjon av forurensing fra trafikk, utslipp fra industri og utslipp fra forbrenning av ved, gass og olje i bygg kombinert med topografi og klima som hindrer ventilering av byen eller tettstedet. Forurensingen lokalt fra forbrenning av olje, gass og ved er svært avhengig av hvor rent fyringsanlegget en brenner, hvordan det driftes og hvor høy pipe det har. /14/ anbefaler at ved utfasing av oljefyringsanlegg bør man, i størst mulig grad, søke å erstatte oljefyring med energikilder som ikke har lokale utslipp.

Alle disse forholdene taler til fordel for at man knytter byggene til de kollektive systemene – el-nettet og fjernvarmenettet der det finnes slike. Fjernvarmesentraler er store, profesjonelt drevne energisentraler med mulighet for rensing av avgasser og overvåking av utslipp, men kraften hentes fra fornybare kilder.

Dersom flere fjernvarmesentraler er koblet sammen i et nett har en også muligheter til å lokalisere de sentralene som har utslipp og som kan skape lokale luftforurensningsproblemer på ett sted og med en renseteknologi slik at problemer unngås. Dette taler for økt satsing på fjernvarme i tettbygde strøk, noe som igjen forutsetter vannbårne varmeanlegg i byggene.

6.3 Kollektive systemer har profesjonell drift og kontroll på utslipp

Store kollektive energisentraler blir nøye fulgt opp av brukerne da lønnsomhet i driften er grunnlaget for virksomheten. Dette fører til en kontinuerlig fokus på ytelse og virkningsgrader. Anleggene har sentrale driftskontrollanlegg og de følges opp daglig av profesjonelt driftspersonell. Virksomhetene dokumenterer også sine utslipp og virkningsgrader og fører historikk over utviklingen.

Lokale, mindre energisentraler har som regel dårligere driftsoppfølging enn fjernvarmesentraler fordi små sentraler som regel ikke kan forsvare fast driftspersonell av økonomiske hensyn.

Større kollektive energisentraler er mer effektive enn lokale sentraler og har mulighet til å gi mindre partikkel og CO₂ utslipp, dvs er mer gunstige både lokalt og globalt. Store energisentraler er mer profesjonelt drevne enn små sentraler. En av årsakene til det er at det er få aktører som har etablert noe systematisk tilbud om profesjonell drift av mindre energisentraler

Enova innfører nå krav til måling av ytelse på energisentraler de gir støtte til. Dette vil føre til bedre kunnskap om ytelsen på disse systemene.

6.4 Kostnader ved valg av varmesystem

Ved vurdering av kostnader for de ulike energiforsyningsløsningene er det avgjørende at alle kostnader tas med og at alternativene gjøres sammenlignbare. Byggsektoren er kraftbransjens største kunde. Hvordan man utvikler varmforsyningen i bygg må betraktes som en integrert del av samfunnets infrastruktur, med den langsiktigheten i vurderingene som det innebærer.

Investeringskostnader, kostnader på kjøpt effekt og energi samt drift og service kostnader må med når ulike alternativer skal sammenlignes. Avkastningskravet som brukes for sammenligning av alternativene må reflektere langsiktighet og dokumenteres og begrunnes.

Det bør stilles krav til grundig dokumentasjon av virkningsgrader og å bruke konservative verdier om dokumentasjon ikke foreligger. Tilsvarende bør kostnader til drift, service og vedlikehold av lokale sentraler medtas ved sammenligning mot fjernvarmesystemer. Kostnadene ved drift og vedlikehold av lokale varmesentraler blir ofte sterkt undervurdert og det er mange eksempler på at bygg som i utgangspunktet ønsket lokal varmesentral, etter en tid søker bistand fra det lokale fjernvarmeselskapet. Sammenligninger bør gjøres over levetiden til energisentralen og forventede oppgraderinger skal medtas.

Når slik totalkostnadsvurdering ligger til grunn for beslutninger vil det føre til et riktigere bilde av investeringen og sannsynligvis også valg av mer energieffektive løsninger.

7. KONKLUSJON OG ANBEFALINGER

Rapporten viser at virkelig energibruk er høyere enn teoretisk beregnet i nye bygg bygget etter dagens standard og planlagt fremtidig standard. Det synes å være langt igjen til bygg uten behov for termisk energi. Det benyttes termisk energi i betydelig omfang på områder som ikke er regulert av forskriften. Her gjelder ingen krav til energiforsyning. Samfunnet arbeider med utfasing av olje, men optimale alternative løsninger er i stadig utvikling. Framtidens byggeregler bør derfor kreve tilrettelegging for fleksible energiforsyning til all termisk energi. Det bør tilsvarende også stilles krav til tilrettelegging for fleksibel energiforsyning også for andre formål slik som gatevarme og badeanlegg.

Leverandører i kollektive energisystemer kan dokumentere virkelig energiytelse og utslipp, noe som sjelden er tilfelle med lokale energisentraler. Samtidig gir dagens energimerkeordning mulighet for bruk av svært gode systemvirkningsgrader for lokale energisentraler med varmepumpe, mens fjernvarmeleveranser basert på samme løsning ikke gis denne muligheten. Dette kan føre til en ikke optimal løsning med en rekke lokale energisentraler som ikke driftes godt og som er avhengig av el eller fjernvarme som spisslast. Spisslasten utgjør gjerne 50 % av effekten, men kun får prosent av energien. Det må etableres ordninger som sikrer god økonomi også for leveranse av spisslast. Ønske om «Nullenergi» og «Plusshus» stiller ytterligere store krav til de kollektive energisystemene.

Utvikling av energileveringsløsninger for «Nullenergi» og «Plusshus» vil kreve betydelig samordning med og tilpasning til kollektive leverandører av elektrisitet og fjernvarme for en samfunnsmessig og totaløkonomisk optimal løsning av utviklingen mot et nullutslippssamfunn.

Fleksibilitet i energisystemet både lokalt hos brukere og, regionalt for et område er viktig både for best mulig utnyttelse av ressursene.

Lav temperatur på varmesystemet (lav eksergi) er en forutsetning for maksimal fleksibilitet og mulighet for høy energieffektivitet i forhold til å utnytte alle andre energikilder. Et krav om lavtemperatur varmesystem i bygg vil sikre en bygningsmasse med maksimal fleksibilitet i overskuelig fremtid..

Vi anbefaler at det for nybygg stilles krav til fremtidig høy grad av energifleksibilitet. Det anbefales at 100 % av netto termisk energi til nybygg gjøres energifleksible. Flexibiliteten bør omfatte oppvarming av tappevann, romoppvarming og ventilasjonsoppvarming. I tillegg bør tilsvarende krav stilles til gatevarmesystemer og systemer for badeanlegg. Følgende krav til vannbåret system kan tilfredsstillende slik energifleksibilitet:

	Medie	Maksimum turtemperatur
Tappevann	væske	70 °C
Romoppvarming	væske	45 °C
Ventilasjonsvarme	væske	40 °C

Alternativt kan en gjennomføre en trinnvis innføring av et slikt krav ved at en i 2020 stiller krav til noe lavere temperaturer enn i f.eks 2015.

Energifleksibilitet	2015	2020
% andel netto energi iht NS3031 som gjøres energifleksibelt	80	100
Andre anlegg som skal utføres energifleksible	Gatevarme	Gatevarme, Svømmeanlegg

		Maksimum turtemperatur	
	Medie	2015	2020
Tappevann	væske	70 °C	65
Romoppvarming	væske	45 °C	35
Ventilasjonsvarme	væske	40 °C	35

Unntak kan vurderes innført for små bygg med spesielt lite behov for varme og kjøling.

8. REFERANSER

- /1/ Värmemarknaden i Sverige – en samlad bild, Maj 2014. Forfattere: Håkan Sköldberg og Bo Rydén på Profu
- /2/ NOU Norges offentlige utredninger 2012:9 Energiutredningen – verdiskapning, forsyningssikkerhet og miljø. Departementenes Servicesenter. 2012
- /3/ «Nesten nullenergibygg – Forslag til nasjonal definisjon» utarbeidet av Rambøll for DIBK i november 2013
- /4/ DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)
- /5/ Energibruk i kontorbygg – trender og drivere. Desember 2012. THEMA Rapport 2012-28
- /6/ Analyse av energibruk i forretningsbygg Formålsdeling Trender og drivere. Norges vassdrags- og energidirektorat 2014
- /7/ Vannbåren oppvarming i fremtidens leiligheter. Hovedoppgave HIOA våren 2014. Ingrid B. Borgli, Kristin Nørstebø, Angie Albarracin
- /8/ Passivhus boligfelt med fjernvarme. Erfaringer fra 2013. Statkraft
- /9/ Planlegging av solvarmeanlegg for lavenergi boliger og passivhus. En introduksjon. Sintef prosjektrapport 22, 2008, Inger Andresen
- /10/ <http://www.svenskfjarrvarme.se/Medlem/Fokusomraden/Fjarrvarldens-omvarld/Energieffektivisering/Energieffektiviseringsexempel/Bostader/Kvarteret-Seglet-i-Karlstad/>
- /11/ Varmeløsninger og deres dekningsgrader. Lavenergi programmet 2011. Bryn, Petersen og Gedsø.
- /12/ <http://www.statkraft.com/energy-sources/hydropower/pumped-storage-hydropower/>
- /13/ Design of Future Pumped Storage Hydropower in Norway. CEDREN. Professor Ånund Killingtveit
- /14/ Utfasing av oljefyring - Konsentrasjonsbidrag til PM10 og NO2 i Oslo. NILU. 2013. Dag Tønnesen og Britt Ann K. Høiskar
- /15/ Samtale med fagsjef Knut Olav Knudsen VVS foreningen
- /16/ http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm
- /17/ <http://www.regjeringen.no/nn/dep/kld/Tema/klima.html?id=1307>
- /18/ <http://www.dibk.no/globalassets/byggesaksdagene/tek02grini.pdf>
- /19/ Hvem eier varmepumpe og hva gjør det med Strømforbruket? SSB. 2013, Bente Halvorsen og Bodil M. Larsen https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/_attachment/109881?_ts=13e41438480
- /20/ Veiledning TEK 10 §14-7, <http://dibk.no/no/BYGGEREGLER/Gjeldende-byggeregler/Veiledning-om-tekniske-krav-til-byggverk/?dxp=/dxp/content/tekniskekrav/14/7/>

/21/ Passive Houses in Sweden. From design to evaluation of four demonstration projects.
Ulla Janson, Lund Tekniske Høgskole, 2010