



 **BYGGFORSK**  
Norges byggforskningsinstitutt

Sverre Fossdal og Knut Ivar Edvardsen

# Bygningers energi- forbruk og miljøpåvirkning

En studie av tradisjonelle  
og moderne trebygninger

# **Bygningers energi- forbruk og miljøpåvirkning**

En studie av tradisjonelle  
og moderne trebygninger

Prosjektrapport 262 - 1999

• Prosjektrapport 262 1999

Sverre Fossdal og Knut Ivar Edvardsen

Bygningers energiforbruk og miljøpåvirkning

En studie av tradisjonelle og moderne trebygninger

Norsk oversettelse av Energy consumption and environmental impact of buildings, Project report 177, 1995.

Til norsk ved: Utenriksdepartementet, oversettelsestjenesten

ISSN 0801 -6461

ISBN 82 - 532 - 0666 - 4

1500 stk. trykket i 1999 i samarbeid med Riksantikvaren

Resirkulert papir: omslag Cyclus Offset 200 g og innhold Carat 100 g

© Norges byggforskningsinstitutt 1999

(Norwegian Building Research Institute)

Adresse:

Forskningsveien 3B

Postboks 123 Blindern

N - 0314 OSLO

Telefon: +47 22 96 55 55

Telefaks: +47 22 96 57 25

Formgiver: Front Strategisk Design

Nøkkelord :

*livssyklusanalyse*

*bolig*

*bindingsverk*

*tømmerkonstruksjon*

*Norge*

## Forord

Denne rapporten ble skrevet for rundebordskonferansen og ministermøtet i Oslo 6. - 10. februar 1995, og er en sammenlignende studie av energiforbruk og miljøpåvirkning for tradisjonelle og moderne trebygninger.

Dette er et bidrag til arbeidet som Riksantikvaren utfører, sett i et bærekraftig perspektiv.

Aage Bleken, Riksantikvaren, Terje Apneseth, Tore Opdal, Norsk treteknisk institutt og Erik Algaard, Multiconsult A/S har alle bidratt som referansegruppe til denne rapporten.

Oslo, mai 1995

Sverre Fossdal  
Knut Ivar Edvardsen

# Innhold

	<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Livssyklusanalyse</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Bindingsverkshuset</b>	<b>8</b>
3.1	Beskrivelse	8
3.2	Materialer	9
3.3	Energi og utslipp	10
<b>4</b>	<b>Tømmerhuset</b>	<b>10</b>
4.1	Beskrivelse	10
4.2	Materialer	11
4.3	Energi og utslipp	12
<b>5</b>	<b>Riving og avfall</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>Fullstendig regnskap for energi og miljø- påvirkning for bindingsverkshuset og tømmerhuset</b>	<b>13</b>
<b>7</b>	<b>Vurdering av miljøpåvirkninger</b>	<b>14</b>
7.1	Drivhuseffektpotensial	14
7.2	Forsuring	14
7.3	Dannelse av foto-oksiderter	15
7.4	Overgjødning	15
7.5	Forbruk av fossile ressurser	15
7.6	Generell økoprofil	16
<b>8</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>17</b>
<b>9</b>	<b>Referanser</b>	<b>17</b>

## Sammendrag

Nittiåtte prosent av alle småhus i Norge har en bindingsverkskonstruksjon, en teknologi der det er oppnådd et høyt perfektjonsnivå når det gjelder termisk virkningsgrad, lufttetthet og oppsettingshastighet. En omfattende livssyklusanalyse av bygninger med både bindingsverks- og tømmerkonstruksjon er utført.

Tre har i århundrer vært det viktigste bygningsmaterialet i Norge. Snekkertradisjonene går mer enn 1000 år tilbake i tiden. Tømmerkonstruksjon har vært den viktigste metoden for å skaffe ly for mennesker og husdyr i størstedelen av den samme perioden. Selv i dag bor tusener av nordmenn i tømmerhus – og noen av disse husene er flere hundre år gamle.

Som en konsekvens av økende forurensning og de globale miljøproblemene er bygningssektoren opptatt av å finne mer bærekraftige tilnæringsmåter for framtidig bygging og behandling av bygningsmassen. Så langt har det vært satt mye inn på å redusere energiforbruket. I dag er det helt klart at det ikke er nok å se bare på energisparing, og at omfattende livssyklusanalyser vil gi en bedre forståelse av de miljømessige konsekvensene til et bygningsprosjekt.

Bygninger i et livssyklusperspektiv er av største viktighet i forbindelse med energiforbruk og miljøpåvirkninger. Denne rapporten presenterer det aller nyeste når det gjelder å utføre slike studier i sin fulle bredde. Brukstiden til bygninger er svært lang sammenlignet med andre produkter, og er underlagt mange usikkerhetsmomenter i løpet av sin levetid. Ved sammenligningen av de to husene i rapporten er levetiden antatt å være 50 år, selv om den virkelige levetiden til bygninger er lengre.

I Norge blir energiforbruk uttrykt i kWh/m<sup>2</sup> (MJ/m<sup>2</sup>) og luftgjennomstrømming i m<sup>3</sup>/t m<sup>2</sup> for bygninger, og definisjonen av en funksjonsenhet er dermed valgt å være per m<sup>2</sup> og 50 år. Tre anses som CO<sub>2</sub>, dvs. fotosyntesen av CO<sub>2</sub> under veksten av treet og frigjøring av CO<sub>2</sub> når trematerialet blir brent eller brutt ned, vil være den samme. Det er de potensielle virkningene som er vurdert. Det er ikke utført noen evaluering mellom disse kategoriene. En evaluering består av subjektive elementer, og vektparametrene kan aldri baseres bare på vitenskapelige metoder.

I vurderingen er det forutsatt at bygningen varmes opp med elektrisitet, og at denne elektrisiteten produseres fra vannkraft uten utslipp til luft. Når det gjelder de fleste av de kategoriene som vurderes i denne rapporten, bidrar tømmerhuset til mindre miljøpåvirkninger enn bindingsverkshuset. Dannelsen av foto-oksideranter er høyere for tømmerhuset, men dette kommer fra transport og forklares i vektforskjellene mellom de to bygningene. Det er betydelige forskjeller mellom de to husene i forbruk av fossile ressurser og utslipp av CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub>, og tømmerhuset kommer her best ut. Det totale energiforbruket for tømmerhuset er imidlertid 20 % høyere enn for bindingsverkshuset. Bygningsmaterialene som brukes i tømmerhuset, er i hovedsak bærekraftige materialer, de blir til en viss grad brukt i sin naturlige form og danner derfor et minimum av avfall. Beregningene er utført for de klimatiske forholdene i Oslo.

# 1 Innledning

Tre har i århundrer vært det viktigste bygningsmaterialet i Norge. Snekkertradisjonene går mer enn 1000 år tilbake i tiden. Stavkirkene og vikingskipene er levende bevis på allsidigheten og holdbarheten til tre som byggemateriale. Tømmerkonstruksjon har vært den viktigste metoden for å skaffe ly for mennesker og husdyr i størstedelen av den samme perioden. Selv i dag bor tusener av nordmenn i tømmerhus - og noen av disse husene er flere hundre år gamle. Tømmerkonstruksjoner har også en betydelig andel av markedet når det gjelder fritidsboliger.

Som en konsekvens av billigere skurlast og industrialiseringen av bygningsprosessen har nye konstruksjonsteknikker, som først ble introdusert for omtrent hundre år siden, langsomt redusert andelen av nye tømmerkonstruksjoner. I etterkrigstiden er kravene til termisk ytelse for bygninger blitt gradvis strengere, og de har dermed slått ut i disfavør av tømmerhus. En annen faktor har vært prisnivået, som for et nytt tømmerhus er blitt betraktelig høyere enn for et lignende bindingsverkshus.

I dag har 98 % av alle småhus i Norge en bindingsverkskonstruksjon, en konstruksjonsteknikk der det er oppnådd et høyt perfektjonsnivå når det gjelder termisk virkningsgrad, lufttetthet, oppsettshastighet osv.

Som en konsekvens av økende forurensning og problemene med den globale drivhuseffekten, er bygningssektoren opptatt av å finne mer bærekraftige tilnæringsmåter når det gjelder framtidig bygging og behandling av bygningsmassen. Så langt har mye vært satt inn på å redusere energiforbruket. I dag er det helt klart at det ikke er nok å se bare på energisparing, og at omfattende livssyklusanalyser vil gi en bedre forståelse av de miljømessige konsekvensene til et bygningsprosjekt.

Sammen med den økende interessen for fornybare og naturlige materialer har vi i de senere årene sett et økende marked for tømmerhus og en revitalisering av tradisjonelle ferdigheter og konstruksjonsteknikker. Det er derfor av stor interesse å sammenligne ytelsen til et moderne tømmerhus med et bindingsverkshus, som begge oppfyller gjeldende norske bygningskrav.

Bygninger i et livssyklusperspektiv er av største viktighet i forbindelse med energiforbruk og miljøpåvirkninger. Bevisstheten om dette har skapt et behov for nye data og metoder for å gi grunnlag for å kunne velge mellom alternative utforminger, materialer, konstruksjonsmetoder osv. Denne rapporten presenterer det aller nyeste når det gjelder å utføre slike studier i sin fulle bredde. Eksemplene er valgt for å kunne vise metodikken, og ikke for å rangere én bygningstype framfor en annen.

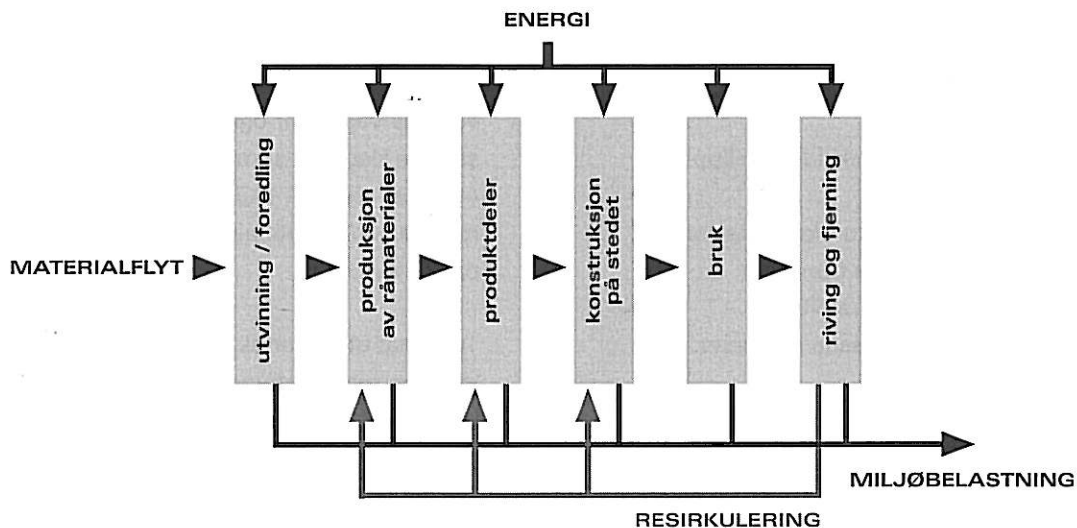
## 2 Livssyklusanalyse

En livssyklusanalyse er en systematisk måte for å vurdere påvirkningen på helse, miljø og ressurser gjennom hele livssyklusen til et produkt. Livssyklusen til en bygning består av flere faser. I alle disse fasene blir det forbrukt energi, og det skjer utslipp til luft, vann og jord. Brukstiden er svært lang sammenlignet med andre produkter, og bygninger utsettes for mange usikkerhetsmomenter gjennom sin

levetid. Ved sammenligningen av disse to husene er levetiden valgt å settes til 50 år, selv om den virkelige levetiden til bygninger normalt vil være lengre. Grunnen til dette valget er at kravene til bygninger endres raskere i dag enn tidligere, og arbeid utført av CEN/TC88/WG2 har satt 50 år som minimumslevetid for bolighus.

Figur 1

Bygningers livssyklus



I følge SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) [2] består en livssyklusvurdering av fire trinn. I Norge blir energiforbruk for bygninger vanligvis uttrykt i kWh/m<sup>2</sup> (MJ/m<sup>2</sup>) og luftgjennomstrømming i m<sup>3</sup>/t m<sup>2</sup>, og definisjonen av funksjonsenheten er derfor valgt å være per m<sup>2</sup> og 50 år.

Hensikten med denne livssyklusvurderingen har vært å sammenligne miljøpåvirkningene for et bindingsverkshus og et tømmerhus av samme størrelse gjennom husenes totale levetid. Vurderingen er basert på energi- og miljødata for bygningsmaterialer produsert i Norge [2]. Innsamlingen av disse dataene har vært basert på prinsipper og retningslinjer som er utarbeidet av SETAC og EPA (US Environmental Protection Agency) [4].



## 3 Bindingsverkshuset

### 3.1 Beskrivelse

Tre anses som CO<sub>2</sub>-nøytralt, dvs. at fotosyntesen av CO<sub>2</sub> under veksten av treet og frigjøringen av CO<sub>2</sub> når trematerialet blir brent eller brutt ned, vil være den samme. Innsamlingen av data har derfor vært begrenset til energi, og skiller mellom vannkraft og fossilt brensel, og utslipp av CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC og støv. Beregning av VOC er basert på utslipp fra transport av materialene. Utslippene er klassifisert i ulike påvirkningskategorier, og bidraget fra de ulike utslippene er kvantifisert. Følgende kategorier er vurdert:

- 1) Global oppvarming som skyldes CO<sub>2</sub>-utslipp
- 2) Forsuring som skyldes utslipp av SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>
- 3) Dannelse av foto-oksideranter som skyldes VOC fra transport
- 4) Overgjødning fra NO<sub>x</sub>
- 5) Utarming av fossile ressurser

Det er de potensielle virkningene som er vurdert. Det er ikke utført noen evaluering mellom disse kategoriene. En evaluering består av subjektive elementer, og de veide parametrene kan aldri baseres bare på vitenskapelige metoder.

Figur 2

#### Livssyklusvurdering



Bindingsverkshuset, vist på figur 3, har et brutto gulvareal på 85 m<sup>2</sup>. Det blir oppvarmet med elektriske panelovner, og har passiv avtrekksventilasjon med en utsugingsvifte over kjøkkenkomfyren i tillegg. Det elektriske anlegget er skjult i vegger og tak.

Ytterveggene i bindingsverkshuset har isolasjon av 150 mm mineralull, en ekstern vindspærre på 12 mm asfaltimpregnerte porøse trefiberplater og et diffusjonstett sjikt på innsiden av 0,15 mm polyetylenfilm. Den innvendige kledningen er 13 mm gipsplater. På utsiden er det en vertikaltstilt ventilert trekledning med dekkbord. Innvendige vegger er også i bindingsverk, og har samme kledning som ytterveggene. Vinduene utgjør et areal på 10,7 m<sup>2</sup>, og er laget av tre med forseglet dobbeltglass. De har en U-verdi på 1,9 W/m<sup>2</sup>K.

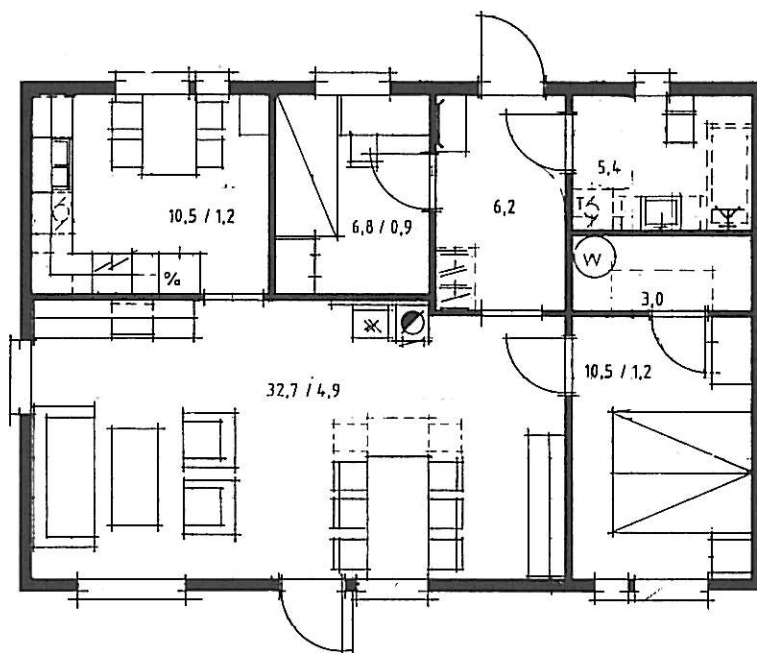
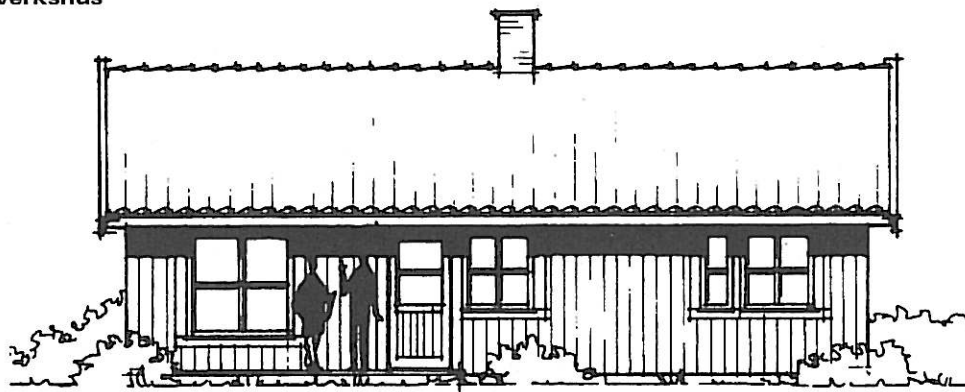
Taket har et bærende system med takstoler i W-form, platekledning av 4 mm asfaltimpregnerte undertaksplater og tak med heller av betong. Innertaket er isolert med 200 mm mineralull, og har samme diffusjonstette sjikt som ytterveggen. Det er her en kledning av 12 mm sponplate. Bjelkegulvet inneholder isolasjon av 200 mm mineralull. 12 mm asfaltimpregnerte trefiberplater er brukt som vindspærre og 22 mm fiberplater er brukt som bærende undergulv. Gulvbelegget er linoleum.

Bygningen hviler på en perimetervegg av betong, 1,6 m dyp for å motstå telehiving. Krypekjelleren under gulvet er ventilert og beskyttet mot fuktighet nedenfra med 0,2 mm polyetylenfilm på bakken.

Hovedmaterialet i garderobe- og kjøkkenskap er sponplater.

Figur 3

### Bindingsverkshus



### 3.2 Materialer

Tabellen viser hvilke bygningsmaterialer som er brukt i bindingsverkshuset. Spesifikasjonen omfatter omhyllingsflate og fundament, dører og vinduer, innervegger, gulvbelegg, kjøkken-skap, garderobeskap, teknisk utstyr, avløp for sanitæranlegg og utstyr og elektriske ledninger.

Massen omfatter kapp og utskiftinger i en periode på 50 år. Fundamentet utgjør mer enn 70 % av den totale massen.

Tabell 1

#### Materialer i bindingsverkshus

MATERIALER	MASSE TONN
BETONG	38,9
TRE	5,6
SPON - OG GIPSPLATER	4,6
MINERALULLISOLASJON	1,0
METALLER	1,1
FLISER OG PORSELEN	2,1
LINOLEUM OG PLAST	0,9
GLASS	0,3
DIFFUSJONSPAPP OG MALING	0,3
<b>TOTALT</b>	<b>55,0</b>

## 4 Tømmerhuset

### 3.3 Energi og utslipp

Beregninger av energiforbruket er utført i samsvar med NS 3031 og NS 3032. I tillegg er det forutsatt et forbruk av varmt vann på 12 500 MJ/år. Huset befinner seg i Oslo, og infiltrering er valgt å være 0,2 luftutskifting/t og ventilasjonsflyten er 75 m<sup>3</sup>/t.

Tabellen viser bindingsverkshusets beregnede energiforbruk.

Tabell 2

#### Beregnet energiforbruk bindingsverkshus

	MJ/m <sup>2</sup> år
TRANSMISJONSTAP	480
VENTILASJON	163
INFILTRERING	81
VARMT VANN	155
BELYSNING	94
UTSTYR	85
GRATIS ENERGI (SOL, MENNESKER)	-289
<b>TOTALT ENERGI FORBRUK</b>	<b>771</b>

Det totale energiforbruket over en periode på 50 år vil være 38.540 MJ/m<sup>2</sup>.

Energiregnskapet, delt opp i forbruk av vannkraftenergi og fossil energi, samt utslipp av CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og støv, er vist i tabellen. Tabellen dekker alle faser fra utvinning til konstruksjon på stedet. Det totale energiforbruket omfatter også bruk av bioenergi.

Tabell 3

#### Energi og miljøpåvirkning - bindingsverkshus

MASSE (kg/m <sup>2</sup> )	ELEKTRISITET (Mj/m <sup>2</sup> )	FOSSIL ENERGI (Mj/m <sup>2</sup> )	TOTALT (Mj/m <sup>2</sup> )	CO <sub>2</sub> (g/m <sup>2</sup> )	SO <sub>2</sub> (g/m <sup>2</sup> )	NO <sub>x</sub> (g/m <sup>2</sup> )	STØV (g/m <sup>2</sup> )
676	589	1 159	1 972	114 558	118	538	129

### 4.1 Beskrivelse

Tømmerhuset er vist på figuren nedenfor. Det har et brutto oppvarmet gulvareal på 77 m<sup>2</sup> og et uoppvarmet lagerrom på 6,6 m<sup>2</sup>.

Oppvarmings- og ventilasjonssystemet er det samme som for bindingsverkshuset. Det elektriske anlegget er åpent (synlig).

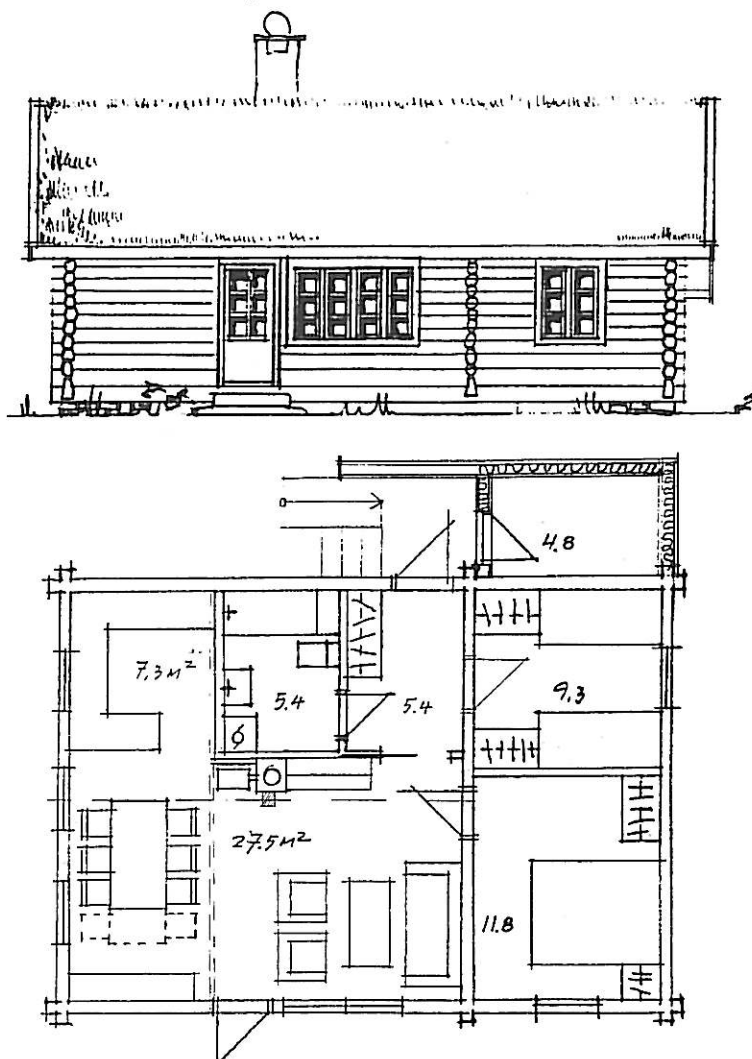
Ytterveggene (og den indre tverrveggen) er i tradisjonell tømmerkonstruksjon uten ekstra varmeisolasjon eller kledning. De andre innerveggene er i bindingsverk med kledning av tømmerpanel. Hver enkelt tømmerstokk er trimmet for hånd, slik at de har fått et ovalt tverrsnitt, noe som gir den ferdige veggen en gjennomsnittlig tykkelse på 190 mm (U-verdi 0,55 W/m<sup>2</sup>K). Vinduene har et areal på 8,4 m<sup>2</sup>, og er laget av tre med koblede karmen med en enkeltrute i ytterkarmen og en forseglet enhet med dobbelt glass i innerkarmen. U-verdien er 1,5 W/m<sup>2</sup>K.

Taksperrene hviler på en tømmerbjelke støttet av gavlveggene og den indre tverrveggen. Det er 300 mm cellulosefiberisolasjon mellom sperrene. Bygningspapp med et tynt plastbelegg er brukt som diffusjonstett sjikt på innsiden, og vanlig diffusjonspapp som vindspærre på utsiden. Taket er et tradisjonelt torvtak, det er 150 mm tykt og hviler på et bærende undertak av bord med not og fjær. Vanntetthet er sikret ved hjelp av åtte lag av bjørkenever mellom torven og bordkledningen.

Bjelkegulvet er fylt med 250 mm tykk cellulosefiber, og har diffusjonspapp på hver side for å forhindre luftinfiltrering. Bordgulvet er spikret rett på bjelkene.

Figur 4

Tømmerhus



Fundamenteringsmetoden ligner den som ble brukt for det andre huset, men naturlig pukkstein er brukt til den synlige delen av perimeterveggen, mens det under bakken bare er brukt mekanisk knust stein som er kompaktert rett i en 1,6 m dyp grøft.

Garderobe- og kjøkkenskap er laget av tre.

Massen omfatter kapp og utskiftinger i en periode på 50 år. Fundamentet til dette huset utgjør bare 25 % av den totale massen.

Tabell 4

Materialer - tømmerhus

MATERIALER	MASSE TONN
TRE	27,4
TORV OG BJØRKENEVER	27,0
NATURLIG PUKK OG KNUST STEIN	20,1
CELLOULOSEFIBERISOLASJON	3,8
METALLER	0,6
PORSELEN	0,3
PLAST	0,2
GLASS	0,4
DIFFUSJONSPAPP OG MALING	0,5
<b>TOTALT</b>	<b>80,3</b>

4.2 Materialer

Tabellen viser bygningsmaterialene som blir brukt i tømmerhuset. Spesifikasjonene omfatter omhyllingsflate og fundament, dører og vinduer, innervegger, gulvbelegg, kjøkkenskap, garderober, teknisk utstyr, avløp for sanitæranlegg og utstyr og elektriske ledninger.

### 4.3 Energi og utslipp

Beregninger av energiforbruket er utført i samsvar med NS 3031 og NS 3032. I tillegg er det forutsatt et forbruk av varmt vann på 12 500 MJ/år. Huset befinner seg i Oslo, og infiltrering er valgt å være 0,2 luftutskifting/t og ventilasjonsflyten er 75 m<sup>3</sup>/t.

Tabell 5

#### Beregnet energiforbruk - tømmerhus

	MJ/m <sup>2</sup> år
TRANSMISJONSTAP	606
VENTILASJON	181
INFILTRERING	105
VARMT VANN	172
BELYSNING	94
UTSTYR	85
GRATIS ENERGI (SOL, MENNESKER)	-289
<b>TOTALT ENERGI FORBRUK</b>	<b>946</b>

Nyere målinger indikerer at lufttettheten for tømmerhus kan være like god som for et bindingsverkshus. Tabellen viser tømmerhusets beregnede energiforbruk.

Det totale energiforbruket over en periode på 50 år vil være 47.280 MJ/m<sup>2</sup>

Energiregnskapet, delt opp i forbruk av vannkraftenergi og fossil energi, samt utslipp av CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og støv, er vist i tabell 6. Tabellen dekker alle fasene fra utvinning til konstruksjon på stedet. Det totale energiforbruket omfatter også bruk av bioenergi.

Tabell 6

#### Energi og miljøpåvirkning - tømmerhus

MASSE (kg/m <sup>2</sup> )	ELEKTRISITET (Mj/m <sup>2</sup> )	FOSSIL ENERGI (Mj/m <sup>2</sup> )	TOTALT (Mj/m <sup>2</sup> )	CO <sub>2</sub> (g/m <sup>2</sup> )	SO <sub>2</sub> (g/m <sup>2</sup> )	NO <sub>x</sub> (g/m <sup>2</sup> )	STØV (g/m <sup>2</sup> )
1 094	239	676	1 744	47 660	65	501	51

## 5 Riving og avfall

Riving av bygninger har hittil for det meste betydd å rive bygningen så raskt og billig som mulig, og å transportere bort materialene til et område for avfallsdisponering. Ressursmangel og miljømessige hensyn vil imidlertid i framtiden kreve gjenbruk og resirkulering av bygningsavfall.

Ved slutten av sin livssyklus vil tømmerhuset normalt bli tatt ned og gjenbrukt et annet sted, og fundamenteringen lastet på lastebiler og kjørt bort. I denne rapporten forutsettes det at bindingsverkshuset vil bli revet og transportert til et område for disponering, mens tømmerhuset vil bli tatt ned og trolig satt opp på nytt et annet sted. Metaller vil imidlertid bli resirkulert, og trematerialer vil bli gjenbrukt eller brent.

Energiforbruket for rivning og nedtaking av bygninger som dette vil være lite. Transportavstanden for de to husene forutsettes å være den samme.

## 6 Fullstendig regnskap for energi og miljø- påvirkning for bindingsverkshuset og tømmerhuset

Tabell 7

### Regnskap for energi og miljøpåvirkning

<b>TØMMERHUS</b>							
	<b>ELEKTRISITET</b> (Mj/m <sup>2</sup> )	<b>FOSSILT BRENSEL</b> (Mj/m <sup>2</sup> )	<b>TOTALT</b> (Mj/m <sup>2</sup> )	<b>CO<sub>2</sub></b> (g/m <sup>2</sup> )	<b>SO<sub>2</sub></b> (g/m <sup>2</sup> )	<b>NO<sub>x</sub></b> (g/m <sup>2</sup> )	<b>STØV</b> (g/m <sup>2</sup> )
produksjon/vedlikehold	239	676	1 744	47 660	65	501	51
bruk	47 279		47 279				
riving/nedtaking		34	34	2 515	0	2	0
<b>TOTALT</b>	<b>47 518</b>	<b>707</b>	<b>49 055</b>	<b>49 987</b>	<b>65</b>	<b>502</b>	<b>51</b>

<b>BINDINGSVERKSHUS</b>							
	<b>ELEKTRISITET</b> (Mj/m <sup>2</sup> )	<b>FOSSILT BRENSEL</b> (Mj/m <sup>2</sup> )	<b>TOTALT</b> (Mj/m <sup>2</sup> )	<b>CO<sub>2</sub></b> (g/m <sup>2</sup> )	<b>SO<sub>2</sub></b> (g/m <sup>2</sup> )	<b>NO<sub>x</sub></b> (g/m <sup>2</sup> )	<b>STØV</b> (g/m <sup>2</sup> )
produksjon/vedlikehold	590	1 159	1 973	114 682	119	537	129
bruk	38 538		38 538				
riving/nedtaking		34	34	2 515	0	2	0
<b>TOTALT</b>	<b>39 128</b>	<b>1 193</b>	<b>40 545</b>	<b>117 198</b>	<b>119</b>	<b>538</b>	<b>129</b>

De to husene blir oppvarmet med elektriske panelovner, men ingen utslipp av CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og støv vil finne sted siden produksjonen av elektrisitet er basert på vannkraft.

Energien som blir brukt i bygningene i løpet av brukstiden (50 år), står for mer enn 95 % av det totale energiforbruket gjennom hele livssyklusen til disse husene, siden det ikke er installert noen form for varmegjennvinningsutstyr.

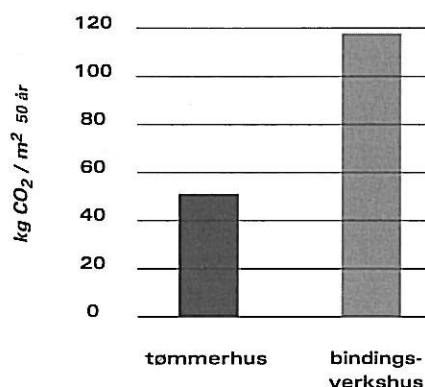
## 7 Vurdering av miljøpåvirkninger

### 7.1 Drivhuseffektpotensial

- Drivhuseffektpotensialet blir beregnet i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Figuren viser utslippene av CO<sub>2</sub> for de to husene. Siden det i dette tilfellet bare vil være CO<sub>2</sub> som er årsak til den globale drivhuseffekten, er CO<sub>2</sub>-ekvivalentene identiske med utslipp av CO<sub>2</sub> gjennom hele livssyklusen til husene.

Drivhuseffektpotensialet, uttrykt i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, er mer enn dobbelt så høyt for bindingsverkshuset som for tømmerhuset.

Figur 5 Drivhuseffektpotensial

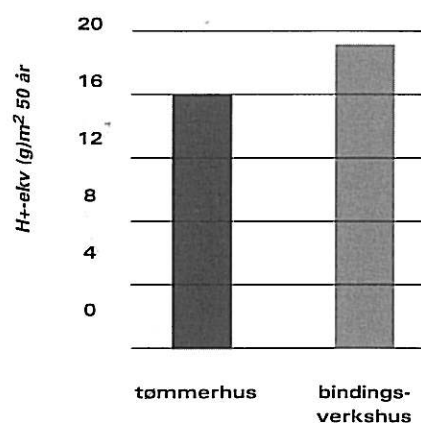


### 7.2 Forsuring

Forsuring blir uttrykt som H<sup>+</sup>-ekvivalenter, og virkningen er beregnet ut fra utslippet av SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>. SO<sub>2</sub> bidrar med 2 mol protoner for hvert mol svovel og NO<sub>x</sub> bidrar med 1 mol protoner for hvert mol nitrogen. Det er forutsatt at NO<sub>x</sub> består av 50 % NO og 50 % NO<sub>2</sub>.

Figuren viser at forsuringen, uttrykt i H<sup>+</sup>-ekvivalenter, er 20 % høyere for bindingsverkshuset enn for tømmerhuset, når det forutsettes at alle utslipp av NO<sub>x</sub> bidrar til forsuring.

Figur 6 Forsuring



### 7.3 Dannelse av foto-oksider

Dannelse av fotooksider, dvs. produksjonen av ozon under innflytelse av solstråling, blir uttrykt i POCP (Photochemical Ozone Creation Potentials/fotokjemisk potensial for ozondannelse), også kalt etylenekvivalenter. Dannelsen av ozon kan begrenses enten av VOC-er eller av  $\text{NO}_x$ . For større deler av Europa forventes det at  $\text{NO}_x$  er viktigere for ozonproduksjonen enn VOC. I vurderingen av de to husene er det bare VOC-utslippene som er tatt i betraktning.

Figuren viser at potensialet for dannelse av fotooksider er ca. 40 % høyere for tømmerhuset enn for bindingsverkshuset. Siden utslippene av VOC bare kommer fra transport, og totalvekten til tømmerhuset er 50 % høyere enn totalvekten til bindingsverkshuset, var dette forventet.

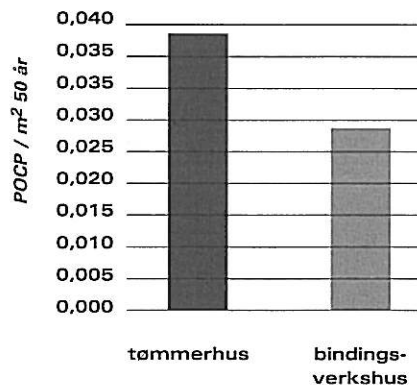
### 7.4 Overgjødning

Overgjødning er bare tatt i betraktning for utslipp av  $\text{NO}_x$ . Deres bidrag til overgjødningen kan beregnes til COD (Chemical Oxygen Demand/kjemisk oksygenforbruk). Det er forutsatt at  $\text{NO}_x$  eksisterer i form av  $\text{NO}_2$ , og at forbruket av oksygen er 8,6 mol for hvert mol nitrogen. Bindingsverkshuset bidrar 10 % mer til overgjødning av jord, vann og vannsystemer enn tømmerhuset. Det er de potensielle virkningene som er beregnet.

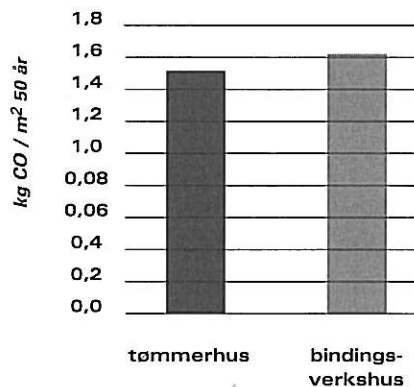
### 7.5 Forbruk av fossile ressurser

Figuren viser at forbruket av fossile ressurser for produksjon og vedlikehold av bindingsverkshuset er ca. 70 % høyere enn for tømmerhuset.

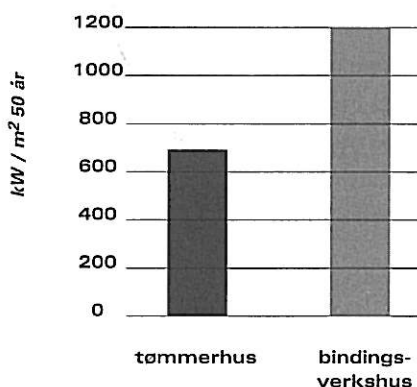
Figur 7 Dannelse av foto-oksider



Figur 8 Overgjødning



Figur 9 Forbruk av fossile ressurser



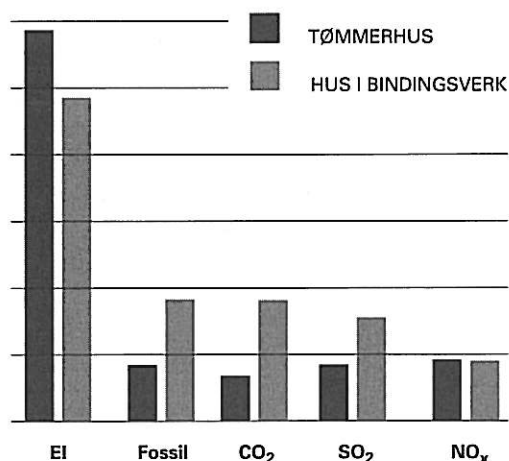


## 7.6 Generell økoprofil

En generell økoprofil for de to husene gjennom deres totale livsløp er normalisert, og vises på figuren nedenfor. Dataene er normalisert ved å dividere forbruket av elektrisitet og fossilt brensel og utslipp av CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> for de to husene med det totale forbruket av elektrisitet og fossilt brensel og utslippene av CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> i Norge i 1993.

NB! Det viste forbruket av elektrisk energi sett over en 50 års periode vil være ti ganger høyere enn det figuren viser.

Figur 10 Normalisert forbruk/emisjoner



## 8 Konklusjon

Når det gjelder de fleste av de kategoriene som er tatt i betraktning i denne rapporten, bidrar tømmerhuset til mindre miljøpåvirkninger enn bindingsverkshuset. Dannelsen av fotooksidanter er høyere for tømmerhuset, men dette kommer fra transport og er forklart med forskjellen i vekt mellom de to bygningene. Det er betydelige forskjeller mellom de to husene når det gjelder forbruk av fossile ressurser og utslipp av CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub>, noe som kommer ut til tømmerhusets fordel. Det totale energiforbruket for tømmerhuset er imidlertid 20 % høyere enn for bindingsverkshuset. Bygningsmaterialene som er brukt i tømmerhuset, er for det meste bærekraftige materialer og blir i en viss grad brukt i sin naturlige form, og lager derfor minimalt med avfall.

## 9 Referanser

1. Aage Blegen, Riksantikvaren, Terje Apneseth, Tore Opdal, Norsk treteknisk institutt og Erik Algaard, Multiconsult A/S, har bidratt som referansegruppe til denne rapporten. Energiberegninger er utført av Erik Algaard, Multiconsult A/S.
2. Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice'. SETAC Workshop Portugal 1993.
3. Sverre Fossdal: Energi- og miljøregnskap for bygg. Norges byggforskningsinstitutt 1994.
4. Life Cycle Design Guidance Manual. United States Environmental Protection Agency, januar 1993.
5. Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles. United States Environmental Protection Agency, februar 1993.

