

*“Utslipp av klimagasser vil på sikt kunne føre til at gjennomsnittstemperaturen ved jordoverflaten øker. En slik temperaturøkning vil kunne endre nedbørmønstre og vindsystemer, forflytte klimasoner og heve havnivået. Disse endringene vil kunne få svært alvorlige effekter på naturlige økosystemer og på samfunnsforhold”*

Miljøverndepartementets handlingsplan 2003 - 2006

*“Globale klimaendringer er den største miljøutfordringen i dette århundre”*

Miljøvernminister Børge Brende mai 2002

## **MOMENTER TIL ET KLIMAREGNSKAP FOR BYGNINGER**

### **SAMMENDRAG**

En betydelig andel av de globale klimagass-utslippene har utgangspunkt i bygninger og byggebransje. Ved bevisst planlegging kan disse belastningene reduseres. Men pr. idag mangler arkitektene relevante hjelpemidler i prosjekteringsfasen.

Å kalkulere klimabelastningene fra en bebyggelse byr på høy kompleksitet. Utlippene av klimagasser avhenger av materialbruk, transportveier og fordeling på energikilder i produksjons- og driftsfase. I tillegg er en bygning forsynt med egenskaper som modulerer belastningen, som karbonbinding, gjenbruks- og brennverdi.

I arbeidsrapporten gjennomgås de ulike aspektene ved en bygnings klimabelastning og det forslås en metodikk for et helhetlig klimaregnskap.

Metodikken utprøves i to bolig-eksempler og resultatene drøftes.

## FORORD

Arbeidsrapporten er initiert av Gaia Lista AS og finansiert av Norske Arkitekter for Bærekraftig Utvikling NABU i samarbeid med Gaia Lista AS.

Arbeidet er utført ved Gaia Lista AS av sivilarkitekt Bjørn Berge. Chris Butters (NABU), Dag Roalkvam (Gaia Lista AS), Audun Rosland (SFT) og Terje Maagerø (SBE) har kommet med nyttige innspill underveis.

Det understrekes at arbeidsnotatet er *foreløpig*. Lesere oppfordres til å poste reaksjoner til [bjoern@gaiarkitekter.no](mailto:bjoern@gaiarkitekter.no)

Bjørn Berge  
Jøllestø 18.11.2002

## INNHOLD

1.0	INNLEDNING	3
2.0	MOMENTER I BYGNINGENS KLIMAREGNSKAP	6
2.1	L1: Driftsmessig oppvarming, belysning og elektrisk utstyr	6
2.2	L2: Oppføring, vedlikehold og avskaffing av bygninger	7
	2.2.1 Produkter, 2.2.2 Transport, 2.2.3 Arbeider	
2.3	L3: Karbonlagring	10
2.4	G1: Tapt brennverdi på biomasse	11
2.5	G2: Verditap materialer og komponenter	11
2.6	G3: Bevart karbonlager	12
3.0	EKSEMPLER PÅ KLIMAREGNSKAP	13
3.1	Typehus	13
3.2	Gjenbrukshus	14
3.3	Ordning av resultater	14
4.0	DRØFTING	15
4.1	Metode	15
4.2	Resultater	15
4.3	Klimabelastning som overordnet miljøparameter ?	16
5.0	KILDER	18

## 1.0 INNLEDNING

Vi vet lite eksakt om klimabelastningen fra norsk byggevirksomhet. Det er vanlig å benytte bransjens energiforbruk som indikator, men denne innfallsvinkelen viser seg å ha betydelige begrensninger. Mens eksempelvis produksjonen av en bygning bare legger beslag på ca. 7-10% av energiforbruket gjennom livsløpet, kan den tilsvarende andelen av klimabelastningen i produksjonsfasen gjerne overskride 40%, (Thyholt 1999).

Å kalkulere klimabelastningen fra en bebyggelse byr på høy kompleksitet. Utslippene av klimagasser avhenger av materialbruk, transportveier og fordeling på energikilder i produksjons- og driftsfase. I tillegg er en bygning forsynt med egenskaper som modulerer belastningen, som karbonbinding, gjenbruks- og brennverdi.

Formålet med et klimaregnskap for bygg vil i første rekke være å samordne disse faktorene og etablere et verktøy som skal gjøre de prosjekterende i stand til å ta de riktige valgene i retning av et mindre klimabelastende byggeri.

I dette arbeidsnotat presenteres en mulig modell for et klimaregnskap. Det må understrekes at dette er en skisse med betydelig videreutviklings-potensiale og at den i første omgang legges fram som et underlag for diskusjon. Bakerst i notatet er også klimabelastningens mulige rolle som overordnet miljøindikator drøftet. Denne muligheten kan være interessant å forfølge ettersom den har i seg kimen til en betydelig forenkling av miljøevaluerings-metodikk generelt.

En bygning representerer klimabelastninger gjennom alle faser fra råvarer hentes ut via materialproduksjonen og videre gjennom bygge-, drifts- og rivings-fasen. Og selv etter dette er det ikke slutt, ettersom ulik bruk og behandling av avfallet kan ha betydelig innvirkning på det endelige resultatet. Tradisjonelle livsløpsvurderinger (Life Cycle Assessments, LCA) stopper imidlertid gjerne ved avfallsmottaket, og til nød betraktes forurensende utslipp ved deponering, (Fossdal 2000). Dermed fortelles ikke hele historien og i prosjekteringsfasen kan man gå glipp av viktige parametre som i noen tilfeller vil kunne endre det samlede belastningsbildet drastisk. Et eksempel vil være robuste bygningskomponenter som kan benyttes om igjen i nok en husgenerasjon og således sparer klimabelastningene ved nyproduksjon.

I det tradisjonelle LCA-regnskapet godskrives normalt slike avfalls-egenskaper først i bygningen som utnytter dem. Dermed blir løsninger som forbedrer mulighetene for senere gjenbruk gjerne neglisjert i planleggingsfasen. Dette rimer dårlig med klimaregnskapet som et mest mulig komplett prosjekteringsverktøy.

For å få bygningens fulle klimabelastninger fram i dagen er det således nødvendig å supplere det tradisjonelle *livsløpsregnskapet* med et *gjennomstrømningsregnskap*. Dette er også godt forenelig med gjeldende trender innen ressursøkonomisering, der man søker å opprette mest mulig sluttede materialkretsløp basert på gjenvinning og gjenbruk og der såvel forbruk av jomfruelige råvarer som tilbakeføring av avfall til naturkretsløpet reduseres til et minimum.

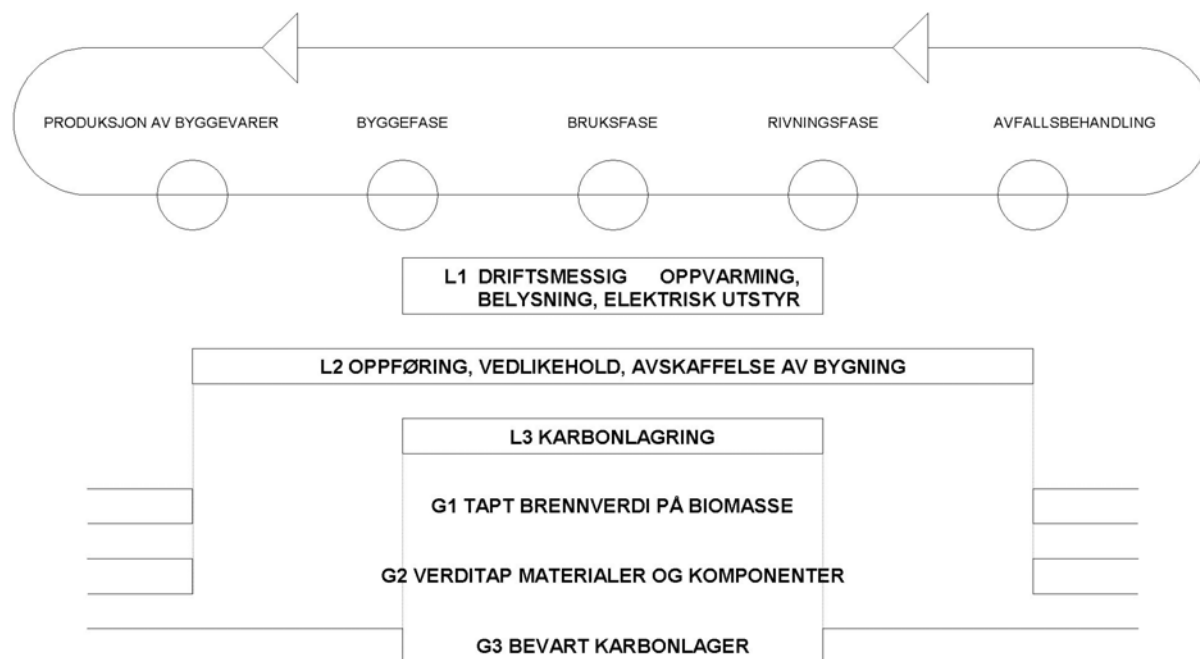


Diagram 1: Forslag til systemgrenser for de ulike klimapåvirkningene fra et byggverk. L-serien omfatter **livsløpsbelastninger** og G-serien **gjennomstrømningsbelastninger**

Mens *livsløpsregnskapet* beskriver de faktiske klimautslippene bygningen representerer, beskriver *gjennomstrømningsregnskapet* "stafett-pinnen" av klimabelastninger bygningen etterlater seg. Sammen kan disse regnskapene, som i utgangspunktet består av supplerende faktorer, summeres til en såkalt *nominell klimabelastning* som beskriver den samlede effekten av de valgene som gjøres under prosjekteringen av et bygg. Men vær oppmerksom på at det i et nasjonalt perspektiv fortsatt alltid vil være snakk om å summere bygningenes faktisk klimabelastning i form av livsløpsbelastningene for å finne fram til bygningsmassens samlede klimapåvirkning. Og det er denne regnemåten som skal benyttes når Norges innfrielse av kravene i Kyotoprotokollen vurderes.

Karbondioksid, CO<sub>2</sub>, er den dominerende drivhusgassen og utgjør for Norges vedkommende ca. 75% av de samlede utslippene. Det er vanlig å oppgi klimaeffekten av de andre klimagassene i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

	<b>KLIMAEFFEKT OVER 100 ÅR (kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter)</b>
Karbondioksid, CO <sub>2</sub>	1
Flyktige organiske forbindelser, VOC <sup>1</sup>	3
Metan, CH <sub>4</sub>	21
Lystgass, N <sub>2</sub> O	310
Hydrofluorkarboner, HFK	140 - 11700 <sup>2</sup>
Perfluorkarboner, PFK	6 500 - 9200 <sup>3</sup>
Svovelheksafluorid, SF <sub>6</sub>	23 900

Tabell 1: De viktigste klimagassene og deres klimaeffekt, etter bl.a. (Godal 2002)

I klimaregnskapet settes levetiden for en bygning til 50 år, noe som også er standarden i konvensjonelle livsløpsvurderinger, (Fossdal 1999). Dette kan i utgangspunktet

virke lavt, men må likevel betraktes som rimelig realistisk i et framtidsscenario med større mobilitet i befolkningen, hyppigere moteskiftninger og lanseringer av tekniske muligheter<sup>4</sup>.

I arbeidsnotat er det lagt vekt på å benytte norske data og kilder så langt som mulig. Vi har blant annet en særegen energisituasjon med stor vekt på vannkraft som i utgangspunktet ikke belaster klima. På den andre siden har vi ofte lange transportveier for byggevarer der det nesten utelukkende benyttes fossilt brensel som energikilde.

Arbeidsnotatet er organisert som en relativt enkel hovedtekst der det er lagt vekt på å bevare kontinuitet og oversikt. Aktuelle bi-diskusjoner, kommentarer og ytterligere dokumentasjon er lagt inn som fotnoter.

<sup>1</sup> Inngår normalt i CO<sub>2</sub>-belastningen, men fortjener selvstendig presentasjon i bygnings-sammenheng.

<sup>2</sup> Omfatter HFK-23 (11 700), HFK-32 (650), HFK-125 (2800), HFK-134a (1300), HFK-143a (3800), HFK-152a (140)

<sup>3</sup> Omfatter CF<sub>4</sub> (6500), C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> (9200), C<sub>3</sub>F<sub>8</sub> (7000)

<sup>4</sup> En utvikling i retning av mer tilpasningsdyktige byggemåter vil imidlertid kunne endre dette.

## 2.0 MOMENTER I BYGNINGENS KLIMAREGNSKAP

Klimabelastningene inndeles i *livløpsbelastninger L* og *gjennomstrømningsbelastninger G*

### 2.1 L 1: Driftsmessig oppvarming, belysning og elektrisk utstyr

I gjennomsnitt 57% av den driftsmessige energibruken i bygningsmassen går til oppvarming av lokaler og bruksvann, mens resten går til belysning og drift av tekniske installasjoner og annet elektrisk utstyr, (Bramslev 2000). Selv til oppvarmingsformål er elektrisitet den dominerende energibæreren med andel opp mot 80%

Avhengig av energikilde som benyttes vil klimabelastningene fra den den driftsmessige energibruken være betydelige og tildels dominerende i det samlede klimaregnskapet for en bygning. Det dreier seg i første rekke om utslipp av CO<sub>2</sub>.

Følgende belastninger vil være dimensjonerende:

	KLIMABELASTNING <sup>1</sup> (kg CO <sub>2</sub> -ekv./kWh)
Elektrisitet fra offentlig nett	0,048 <sup>2</sup>
Elektrisitet egen produksjon fra fornybare energikilder <sup>3</sup>	0
Elektrisitet fra naturgass	0,417 <sup>4</sup>
Varme fra fyringsolje	0,305
Varme fra fornybare energikilder <sup>3</sup>	0
Spillvarme fra industrielle prosesser	0

Tabell 2: Spesifikk klimabelastning for energibruk, etter (Thyholt 1999) og (Fossdal 1995)

Når belastningen fra bygningen skal kalkuleres, beregnes først energiforbruket (Tyse 2001) og dernest forventet fordeling på de ulike energikildene. Klimabelastningen dette gir i løpet av 50 år summeres så inn i klimaregnskapet.

På denne måten avspeiles såvel ENØK-tiltak<sup>5</sup> som valg av energikilde.

<sup>1</sup> Korrigert for virkningsgrad

<sup>2</sup> Baserer seg på scenarier for kraftsituasjonen i Norge i årene framover der forhold som etterspørsel, import, forventet fordeling på energikilder etc. vurderes. Verdier for 2010 legges til grunn for de neste 20-50 årene, (Thyholt 1999). Vær oppmerksom på at klimabelastning i den Europeiske elektrisitets-produksjonen pr. idag kalkuleres betydelig høyere, opp mot 0,4 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter pr. levert kWh. En tilnærming til denne verdien kan bli aktuell på sikt (utbygging av gasskraft, økt overnasjonalt energisamarbeid, EU-medlemskap etc.) og vil i såfall endre tyngdefordelingen i klimaregnskapet drastisk.

<sup>3</sup> Omfatter solenergi, vind-, vann-kraft samt kraftproduksjon fra biobrensel og organiske avfall.

Klimabelastningen fra disse kildene settes normalt i 0. Fra forbrenning av biobrensel og organisk avfall vil det avgis klimagasser, men ikke mer enn det som i utgangspunktet ble bundet i produktene gjennom fotosyntesen.

<sup>4</sup> Forutsetter 50% virkningsgrad i kobinert syklus (gasturbin/dampsturbin). Andre teknikker vil gi høyere utslipp.

<sup>5</sup> Omfattende ENØK-tiltak og bruk av alternative energikilder krever ofte betydelige materielle investeringer som i produksjon og vedlikehold vil innebære klimabelastninger. I noen tilfeller vil disse være større enn det som hentes inn på driftssiden, (Thyholt 1999). Dette vil avspeiles i det endelige klimaregnskapet.

### 2.2 L2: Oppføring, vedlikehold og avskaffing av bygning

Klimabelastningene knyttet til produksjon, vedlikehold og riving av en bygning fordeler seg dels på utslipp av CO<sub>2</sub> som følge av energibruken, dels på prosessmessige utslipp der også andre klimagasser er involvert. Belastningene foregår i hovedsak på nivåene *produkter, transport og arbeider*<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Også renhold med sin innsats av renholdsmidler og maskineri vil innebære klimabelastninger. Ulike materialer og tekniske løsninger vil ha ulike renholds krav, og det er således naturlig også å vurdere om dette aspektet bør tas inn som et klimabelastende element ved et bygg.

### 2.2.1 Produkter

Dette omfatter i første rekke utslippene som kan knyttes til produksjonen av byggevarer, inkludert mellomtransporter, fra råvarene hentes ut via foredlingsfasene til de foreligger som ferdige byggevarer. I noen tilfeller vil også byggevarer i seg selv innebære klimabelastninger, f.eks. løsemiddelholdig maling<sup>1</sup>. Også i avfallsfasen vil enkeltprodukter kunne slippe ut klimagasser, f.eks. KFK-lekkasjer fra kjøle-aggregater. Kompostering av plantematerialer avgir klimagasser, men bare i mengder tilsvarende det som ble bundet i vekstfasen og regnes således som nøytrale i klima-regnskapet.

	<b>SAMLET KLIMA- BELASTNING (kg CO<sub>2</sub>-ekv./tonn)</b>
Aluminium, 50% materialgjenvinning	38 00 <sup>2,3</sup>
Stål, 100% materialgjenvinning	286
Sement <sup>4</sup>	856
Betong <sup>4</sup>	115
Leca-blokker <sup>4</sup>	230
Gipsplater	338
Glass	609
Glassull	921
Steinull	734
Tre	40
Sponplater	404
Cellulosefiber	136

*Tabell 3: Summering av energi- og prosessmessige klimabelastninger i kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter/tonn i norsk produksjon for noen vanlige byggematerialer (Fossdal 1995). Korrigert for el.-belastning<sup>5</sup> og supplert med prosessbelastning utover CO<sub>2</sub>, som ikke var inkludert i kilden.*

Med utgangspunkt i masseberegning kan vekten av de ulike materialene i bygningen bestemmes. Det må deretter kalkuleres inn et svinn på byggplass<sup>6</sup>, samt forventet fornyelse gjennom 50 år for de ulike bygningsdelene, (Christiansen 1997).

Under fornyelsesarbeider må vanligvis også tilgrensede bygningsdeler rives og erstattes. Betydningen av slike tiltak er imidlertid aldri berørt i ordinære livsløpsanalyser, og vi mangler data som kan benyttes i klimaregnskapet<sup>7</sup>. Dette gjelder også for materialbruk som følge av endringsarbeider i løpet av bygningens levetid<sup>8</sup>. Disse kan være omfattende og det er grunn til å søke videre etter grunnlagsdata for kvantifisering her. Det er i den sammenheng viktig å ta i betraktning at det i mange tilfeller er mulig å planlegge seg bort fra

de helt store belastningene for disse problemområdene. Det vil således være en aktuell oppgave å finne fram til en metode for godtgjørelse av bygninger som er vedlikeholdseffektive og tilpasningsdyktige.

Når forbruket over 50 år for de ulike materialene er summeret, beregnes den endelige produksjonsmessige klimabelastningen med utgangspunkt i en utvidet utgave av tabell 3. Her vil etterhvert det pågående arbeidet for miljødeklarerer av byggevarer i regi av bl.a. NBI kunne sørge for et oppdatert datagrunnlag.

<sup>1</sup> Avhenger av løsemiddel-innholdet. I løpet av 50 år vil fornying av malingsjiktet hvert 10. år innebære utslipp på ca. 1,5 kg CO<sub>2</sub>-ekv. pr. kv.m. (Häkkinen 1999). Klimabelastningen telles bare for løsemidler basert på fossile råvarer. Plantebasert terpentin regnes som klimanøytral.

<sup>2</sup> Grovt kalkulert.

<sup>3</sup> Prosessbelastningene utgjør omtrent halvparten av den samlede klimabelastningen og består for en stor del av utslipp av perfluorkarbone PFK.

<sup>4</sup> Ved produksjon av sement frigjøres det ca. 500 kg CO<sub>2</sub> pr. tonn i kalsineringen. Ved såkalt karbonatisering binder det ytterste sjiktet (38-50mm) i fullt utherdet betong tilbake deler av dette utslippet, inntil 200 kg CO<sub>2</sub> pr. tonn, i løpet av konstruksjonens levetid. På grunn av usikkerheter vedr. de klimamessige og betongtekniske betingelsene for karbonatiseringsprosessene er dette utelatt som moment i retningslinjene fra FN's klimapanel, og er heller ikke inkalkulert her.

<sup>5</sup> Pr. idag 0,048 kg CO<sub>2</sub>-ekv/kWh. Industrien vil etterhvert få tilbud om elektrisk kraft levert på grønne sertifikater. Dette innebærer at kraften er produsert fra fornybare energikilder, og materialprodusenter som benytter seg av dette kan sette el.-belastningen i 0, (Bye 2002).

<sup>6</sup> Svinnet varierer for de ulike produktene. Som et gjennomsnitt gjelder 5% for trematerialer, 3% for betong og øvrige materialer ca. 5%, (Fossdal 1995). Svinnet kan i prinsippet reduseres til et minimum med økt vekt på precut og modulsamordning av konstruksjonene.

<sup>7</sup> Eksempel vil være nedknusing av flislagt baderomsgolv for å skifte ut kortsluttede varmekabler. Omfanget av denne type riving kan imidlertid reduseres drastisk ved at bygningene i utgangspunktet planlegges for vedlikehold og utskiftinger. Viktige innfallsvinkler her vil være demonterbarhet og høy tilgjengelighet.

<sup>8</sup> En bygning forandres gjerne betydelig oftere enn man i utgangspunktet forventer seg. Som meste stabile regnes boliger, med en omfattende endring av planløsning hvert 30.år. På den andre siden av skalaen finner vi utleiearealer for næringsvirksomhet der endringer foretas hvert 3.år i snitt, (Blakstad 1997). Endringer i planløsning innebærer normalt omfattende rivningsarbeider og tilføring av nye materialer. I noen tilfeller kan vi anta at materialbruken således vil kunne mer enn doble seg gjennom en driftsfase på 50 år. Ved scenario-planlegging i prosjekteringsfasen vil mye av rivingen kunne unngås ved at man allerede på tegnebordet søker å foregripe så mye som mulig av endringene gjennom livsløpet.

### 2.2.2 Transport<sup>1</sup>

Praktisk talt all transport av ferdige byggevarer og i neste omgang rivningsavfall foregår med diesel- og bensindrevne transportmidler. Dette innebærer større eller mindre utslipp av CO<sub>2</sub>, avhengig av transportmiddel og transport-distanse. Således vil klimabelastningen fra transport ofte bli betydelig høyere enn det relative energiforbruket skulle tilsi.

	UTSLIPP (kg CO <sub>2</sub> /tonn km)
Diesel Veitransport	0,12
Diesel Sjøtransport	0,05
Elektrisk jernbane	0,003 <sup>2</sup>

Tabell 4: Utslipp av CO<sub>2</sub> fra ulike transportmidler, i kg CO<sub>2</sub>/tonn km (Fossdal 1995)(Thyholt 1999)

	Diesel veitransport (km)	Diesel sjøtransport (km)	Elektrisk jernbane (km)	Klimabelastning (kg CO <sub>2</sub> /tonn)
--	--------------------------	--------------------------	-------------------------	--



Aluminium	240	500		53,8
Stål	60	550	400	35,9
Sement	50	450		28,5
Betong <sup>3</sup>	55			6,6
Leca-blokker	25	550		30,5
Gipsplater	225			27
Glass	400			48
Glassull	150	150		25,5
Steinull	150	150		25,5
Tre	200			24
Sponplater	250			30
Cellulosefiber	300	300		51

Tabell 5: Gjennomsnittlig transportdistanse med klimabelastning<sup>4</sup> for de viktigste bygningsmaterialene i bruk i Norge (Fossdal 1995). Materialene er ikke belastet for retur<sup>5</sup>.

Transportavstanden for avfall fra rivningsarbeidene er normalt betydelig lavere enn for nye produkter og settes gjerne til 100 km tur/retur<sup>6</sup>, (Fossdal 1995). Transporten foregår nesten utelukkende med bil.

Som underlag for endelig beregning av klimabelastning kartlegges avstanden fra produsent til byggeplass<sup>7</sup> for alle materialer av et visst volum som inngår i bygget. Marginale materialer og installasjoner spiller sjelden noen avgjørende rolle i det transportmessige klimaregnskapet og kan utelates så sant det ikke er snakk om særlig lange transportveier<sup>8</sup>. Informasjon om benyttet transportmiddel kan evt. fås fra leverandør, men det er med utgangspunkt i tabell 5 trolig langt på vei tilstrekkelig med en skjønnsfordeling her.

Den transportmessige klimabelastningen i bygge- og fornyelses-fasene beregnes deretter for de enkelte produktene og summeres inn i klimaregnskapet. For avfallsfasen er det foreløpig trolig tilstrekkelig å ta utgangspunkt i den samlede avfallsvekten.

<sup>1</sup> Transport av bygningsarbeidere til og fra byggeplass er normalt ikke innberegnet i en livsløpsanalyse (Fossdal 2000). Likevel kan dette aspektet vise seg å være betydelig ettersom arbeidskraften i stadig større grad er langtpendlende, særlig i forbindelse med større byggeprosjekter. Ukependling mellom Oslo og Stockholm er f.eks. meget utbredt.

<sup>2</sup> Klimabelastning tar utgangspunkt i utslipp av 0,048 kg CO<sub>2</sub>/kWh (Thyholt 1999)

<sup>3</sup> Gjelder fra betongprodusent og må suppleres med belastning for sement.

<sup>4</sup> For lette materialer som leveres i store volumer, som isolasjonsmaterialene, er det grunn til å vurdere å legge inn en høyere klimabelastning ettersom fraktkapasiteten i vekt pr. lastebil går ned.

<sup>5</sup> Dette forutsetter at transportmiddelet har returlast, noe som nok vil være usikkert i mange tilfeller.

<sup>6</sup> Det er sannsynlig av transportavstandene for rivningsprodukter vil stige kraftig i årene som kommer som følge av skjerpede krav til materialgjenvinning. For noen materialers vedkommende, som gips og mineralull, vil avfallstransportene tilsvare de opprinnelige varetransportene.

<sup>7</sup> Det foreligger pr. idag ikke noen samtlende oversikt over opphavsted og produsentadresser for byggevarer. Denne burde imidlertid være rimelig grei å få på plass ettersom det nesten utelukkende dreier seg om skandinaviske produkter. Vi skal likevel være oppmerksomme på at importen fra mellom- og øst-Europa tiltar, blant annet for vekt-intensive produkter som tegl og sement. Import av trevirke fra Sibir har også fått et oppsving de seneste årene.

<sup>8</sup> Det finnes riktignok enkeltprodukter i markedet som hentes fra blant annet USA og Asia, eksempelvis vedovner. I slike tilfeller bør transportmessig klimabelastning inkalkuleres.

### 2.2.3 Arbeider

Arbeidet knyttet til oppføring, fornyelse og riving av bygninger utføres dels manuelt og dels maskinelt. Energiinnsatsen bak manuelt arbeid beregnes vanligvis til så lite som 0,1

kWt pr. arbeidstime og klimagassutslippene blir tilsvarende neglisjerbare. I konvensjonelt byggeri er det særlig bruken av byggtørker<sup>1</sup> og maskiner som drar opp energiforbruket. I riving av bygninger er maskinell drift dominerende. Dette utstyret er dels basert på elektrisitet dels på diesel/bensin.

Det er meget sparsomt med tilgjengelig datagrunnlag for bestemmelse av energibruk og klimabelastning på dette nivået, men vi kan inntil videre trolig ta utgangspunkt i at byggearbeidene og rivningsarbeidene utgjør hver sin andel på 5%, totalt 10%, av energiforbruket innen hovedposten *L 2: Produksjon, vedlikehold og riving*, se blant annet (Fossdal 1995). Med sin fordeling på elektrisitet og diesel/bensin er det grunn til å stipulere klimabelastningen tilsvarende.

<sup>1</sup> Bruken av kunstig byggtørring henger sammen med konstruksjonsmetode og byggeperiode. Bygging med plass-støpt betong forutsetter omfattende bruk av bygg-tørker for å begrense byggetiden til et konkurransedyktig nivå. Ved bygging med prefabrikerte betongelementer, stål, tegl og massive treelementer kan bruken av byggtørker reduseres. Ved å bygge om våren utnyttes "tørke-kraften" i sommervarmen, og behovet for byggtørker vil begrenses.

### 2.3 L 3: Karbonlagring

Som et gjennomsnitt består ferdigtørkede planteprodukter av ca. 50% karbon og representerer således en binding av ca. 1,8 kg CO<sub>2</sub>/kg. Å benytte plantematerialer i byggevirksomheten resulterer dermed i at man mellomlagrer et utslipp i et antall år fram til vedkommende materiale kastes. Ved at avfallet deretter brennes frigjøres alt karbonet umiddelbart. Ved deponering oksideres karbonet tilbake over tid, gjerne over så lenge som 50 år. Sistnevnte rommer en rekke usikkerhetsmomenter og variabler og tas normalt ikke med i en beregning av CO<sub>2</sub>-bindingen i produkter (SFT 2001).

Et vesentlig spørsmål er lagringstiden. Hvor lenge må lagringen vare for å utligne klimaeffekten av tilsvarende utslipp til atmosfæren? Dette er et skjønnsspørsmål som blant annet forholder seg til utviklingen av klima-situasjonen i årene som kommer. I fastsettelsen av GWP (Global Warming Potential) i Kyotoprotokollen forholder man seg overordnet til en tidshorisont på 100 år, (SFT 2000). Denne tilsvarer omtrent forventet gjennomsnittlige levetid for CO<sub>2</sub>-gass i atmosfæren, men er likevel meget omdiskutert (Godal 2002). Inntil videre vil det likevel være akseptabelt å ta utgangspunkt i 100 år som dimensjonerende slik at et lager som varer i gjennom en husgenerasjon på 50 år får halv godskriving (samtale med Jan Fugletvedt, Cicero 19.9.02).

CO<sub>2</sub>-bindingen i en bygning beregnes således ved å summere vekten av alle plantematerialene<sup>1</sup> som er benyttet og multiplisere med den spesifikke bindingen på 1,8 kg CO<sub>2</sub>/kg. I løpet av bygningens levetid på 50 år godtgjøres halvparten av den totale bindingskapasiteten som kommer til fratrukk i det endelige klimaregnskapet. Se også om forlenget karbonbinding under avsnitt 2.6.

<sup>1</sup> Vedlikeholds-utskifting av planteprodukter i løpet av bygningens levetid virker ikke inn på CO<sub>2</sub>-lagringen så lenge plantemassen holdes konstant og ikke byttes ut med andre materialer.

### 2.4 G 1: Tapt brennverdi på biomasse<sup>1</sup>

All biomasse som benyttes i byggevirksomheten har i utgangspunktet en brennverdi som kunne vært utnyttet til energiproduksjon. I produksjonen av byggevarer tilsettes basismaterialene gjerne brannhemmere eller bakes sammen med ubrennbare stoffer som

reduserer denne brennverdien<sup>2</sup>. Samtidig benyttes ofte laminatkombinasjoner, impregneringsmidler, lim, malinger og andre overflatebehandlinger som reduserer den praktiske energiutnyttelsen ved at forbrenning på konvensjonelle anlegg representerer uakseptable forurensingsbelastninger<sup>3</sup>. Også forekomster av muggsopp og spiker anses som problematiske.

Forbrenning av biomasse regnes som nøytralt i klimasammenheng ettersom utslippet av klimagasser bare tilsvarer den mengde CO<sub>2</sub> som opprinnelig ble bundet i vekstfasen.

I gjennomstrømnings-regnskapet kalkuleres først det praktiske tapet i vekt av brennbar biomasse gjennom bygningens livsløp[a]<sup>4</sup>. Utgangspunktet for beregning av klimakonsekvensen er at denne biomassen i utgangspunktet kunne vært benyttet i energiproduksjon og således erstattet annen energiproduksjon fra konvensjonelle kilder. Det er i den sammenheng naturlig å sammenligne med oljefyring<sup>5</sup> og således et substitusjonspotensiale på 0,32 kg CO<sub>2</sub>/kWh [b], (OED 1997). Energiproduksjon fra biobrensel med virkningsgrad 75% anslås til 3,2 kWh/kg [c], og regnestykket for gjennomstrømnings-belastningen blir a x b x c.

<sup>1</sup> Tap av brennverdi inngår i ordinære livsløpsvurderinger ved at kaloriverdien i sluttproduktet er medregnet i energiregnskapet, (Fossdal 1995). Det er også vanlig å skille ut biologiske materialer med brennverdien inntakt som egen post. Dette berører imidlertid ikke klima-perspektivet ved å bevare brennverdien.

<sup>2</sup> F.eks. vil cellulosefibrerisolasjon tilsatt 18% (vekt) brannhemmende borater ha mistet ca. 40% av sin opprinnelige brennverdi (Krogh 2001)

<sup>3</sup> Vi vet at selv meget små mengder av trykkimpregnert virke vil gi høye utslag av tungmetaller i aske og røyk fra biobrenselanlegg, og at aske fra kreosot-behandlet virke må deponeres som spesialavfall, (BNL 2001). Utover dette savnes det datagrunnlag for konsekvensene av andre behandlinger, men vi kan anta at innhold av tungmetaller i pigmenter, tørkemidler og soppmidler i betydelig grad vil begrense potensialet for energigjenvinning, likeledes forekomster av ulike plaststoffer og kjemikalier som i normale branntester avgir miljøgifter og andre uønskede stoffer. Eksempler vil være PVC, UP, PUR, PS, CR og SBR. Som uproblematiske kan vi i utgangspunktet regne kalk- og lutbehandlinger, samt malinger og beiser uten soppgifter og syntetiske og metallholdige pigmenter.

<sup>4</sup> Systemgrenser bør trolig være produksjon materialer til produksjon energi. Dette omfatter alle stadier fra basismateriale (ferdigskåret/oppmalt), via bruksfase til avfallsfase og kalkuleres som differansen mellom innsats av ren biomasse og rest av ren biomasse. Rent svinn (bark, spon, flis, kutt etc) i produksjons- og byggefasen tas ikke med ettersom det kan forventes at dette bli energigjennvunnet i produksjons-bedriftene og trolig etterhvert også fra byggeplass med de forventede skjerpinger av avfallsrutiner som myndighetene nå legger opp til.

<sup>5</sup> Dette er nok diskutabelt ettersom størstedelen av oppvarmingsbehovet i Norge dekkes med elektrisitet og bare en mindre andel fra fossilt. Likevel må vi ta i betraktning at såvel biomasse som fossilt brennstoff er lagringsdyktige energiresurser. Og på samme måte som reservene av fossile brennstoffer er begrensede er også biomasse-ressursenes fornyelseskapasitet begrenset, om enn i mindre grad.

## 2.5 G 2: Verditap materialer og komponenter

Oppføring og vedlikehold av et byggverk innebærer betydelige klimabelastninger. Særlig gjelder dette produksjonen av byggevarer, se avsnitt 2.2. Ved å sørge for forlenget levetid på komponenter og materialer vil klimabelastningene reduseres tilsvarende. Dette kan oppnås på to nivåer; ved materialgjenvinning av nedknuste produkter og ved gjenbruk av inntakte produkter. Vanligvis foregår gjenbruk på komponent-nivå, men også ulike typer løsmasser kan gjenbrukes i sin helhet, evt. etter en enkel rensing.

Forusettningene for effektiv materialgjenvinning er i stor grad industrielle og således vanskelig å innpasse i en bygnings klima-regnskap<sup>1</sup>. Betingelsene for senere gjenbruk av produkter legges imidlertid i stor grad i planleggingsfasen av det enkelte bygg. Stikkord her vil være enkel demonterbarhet i konstruksjonen og bruk av produkter i robust og generell utførelse, fortrinnsvis utført i et enkelt materiale for å forenkle kvalitetssikringen, (Berge 1997)<sup>2</sup>.

I gjennomstrømningsregnskapet er vi ute etter verdiforringelsen som har skjedd i bygget. Dette innebærer at differansen mellom inngående og utgående masser kalkuleres i vekt for det enkelte produkt<sup>3</sup>. Ved å bruke tabeller av typen tabell 3 kan behovet for nyproduksjon<sup>4,5</sup> som skapes kalkuleres i klimagassutslipp som summeres inn i klimaregnskapet.

<sup>1</sup> Det er i stor grad opp til byggevareprodusentene om produktene skal utstyres med gjenvinningsverdi. Og det er i neste omgang også opp til dem og/eller annen industri om gjenvinningen skal gjennomføres. Vær oppmerksom på at lange transportveier til gjenvinnings-industrien kan resultere i netto klimabelastning.

<sup>2</sup> Det er selvsagt knyttet betydelig usikkerhet både av økonomisk og teknologisk art til om selv gjenbrukbare produkter vil bli gjenbrukt. Her kan man gjøre lite annet enn å sørge for å øke attraksjonsverdien og brukbarheten til et maksimum og håpe på det beste.

<sup>3</sup> Aktuell systemgrense vil være byggevareprodusent til avfallsbehandling.

<sup>4</sup> Forutsetningen for at ombruksprodukter skal benyttes er at egenskapene omtrent skal tilsvare bruk av nye produkter.

<sup>5</sup> Det er i utgangspunktet aktuelt å godskrive produkter som kan gjenbrukes lokalt for opprinnelige transportmessige klimabelastninger. Det kan imidlertid lett bli litt for spissfindig å ta dette i betraktning i et gjennomstrømnings-regnskap.

## 2.6 G 3: Bevart karbonlager

Hvis plantematerialene deponeres eller brennes ved riving av bygningen etter 50 år får man ikke godskrevet mer enn 50% av CO<sub>2</sub>-bindingen som reduserte CO<sub>2</sub>-utslipp, se avsnitt 2.3. Ved gjenbruk og materialgjenvinning vil imidlertid større eller mindre deler av plante-biomassen bevares i nye bygg og produkter. Tilsvarende andel av det opprinnelige karbonlageret vil således beholdes inntakt.

Ved kalkulasjon av karbonlager-bevaringen gjelder samme retningslinjer som under avsnitt 2.5 Gjenbruk. Karbonlager-bevaring ved materialgjenvinning er således problematisk å ta i betraktning i en bygnings klimaregnskap. Man bør nok begrense seg til en beregning av lager-bevaringen ved gjenbruk. Denne kalkuleres med utgangspunkt i summen utgående biomasse i avsnitt 2.5 og multipliseres med den spesifikke bindingen på 1,8 kg CO<sub>2</sub>-ekv./kg. Vi kan på ny ta utgangspunkt i en husgenerasjon på 50 år<sup>1</sup> som vil få godskrevet halvparten av den totale bindingskapasiteten.

<sup>1</sup> Som premiss gjelder fortsatt at utslitte biomassematerialer skiftes ut med tilsvarende

### 3.0 EKSEMPLER PÅ KLIMAREGNSKAP

Det er forsøkt å gjennomføre klimaregnskap for to boliger som er meget ulike i materialbruk og planleggingsintensjon, men som samtidig såvel størrelsesmessig som funksjonsmessig er sammenlignbare. Begge bygningene er prosjektert på midten av 1990-tallet og tar således ikke i betraktning endringene i Byggeforskrift 1997, men dette regnes som uproblematisk ettersom dette først og fremst dreier seg om å illustrere en metodikk. Detaljeringsnivået er grovkornet, noe som muligens et stykke på vei også bør aksepteres i slike regnskap i framtiden ettersom kalkylegrunnet alltid vil være i endring samtidig som det aldri helt kan befris for en god porsjon vilkårlighet.

I regnskapet oppgis klimabelastningen i kgCO<sub>2</sub>-ekv. over bygningens levetid på 50 år, men også belastning i alternative enheter er vist, (pr. m<sup>2</sup>, pr. m<sup>2</sup> og år, pr. bruker, pr. bruker og år).

#### 3.1 Typehus

Konvensjonell enebolig i tre der første etasje er utført i bindingsverk og sokkeletasjen i grunnmur i lettklinkerblokker isolert med mineralull i oppholdsrom og grunnmursplate mot terreng. Fundament og dekke er i betong. Utstyrt med balansert ventilasjon med varmegjenvinner, virkningsgrad 60%. Oppvarmingen er elektrisk. Bruksareal 135 m<sup>2</sup>. Antatt egnet for 4 beboere.

Bygningen er benyttet som eksempel i (Fossdal 1995) og er videre bearbeidet i (Thyholt 1999). Klimabelastninger for postene 1a og 1b er hentet direkte fra (Thyholt 1999). Disse inkluderer dessverre ikke prosessmessige utslipp for andre klimagasser enn CO<sub>2</sub><sup>1</sup>. Massefordelingen i (Fossdal 1995) er grunnlag for kalkulasjon innen de andre postene. Det er tatt utgangspunkt i at energigjenvinning bare er aktuelt for konstruksjon. Gjenbrukspotensialet er grovt forenklet anslått til 5% (vekt) for alle produkter, også biomasse-materialer.

	<b>A: Livsløps- belastning (kg CO<sub>2</sub>-ekv.)</b>	<b>B: Gjennom- strømnings- belastning (kg CO<sub>2</sub>-ekv.)</b>	<b>A+B Nominell belastning (kg CO<sub>2</sub>-ekv.)</b>
L 1: Driftsmessig oppvarming, belysning og elektrisk utstyr	48 060		
L 2: Produksjon, vedlikehold og riving av bygning <sup>2</sup>	18 900		
L 3: Karbonlagring	-17 190		
SUM A	49 770		49 770
G 1: Tapt brennverdi på biomasse		18 841	
G 2: Verditap materialer og komponenter		17 955	
G 3: Bevart karbonlager		-2 142	
SUM B		34 654	34 654
SUM A+B			84 424

Tabell 6: Klimabelastning fra typehus 135m<sup>2</sup> over 50 år

<sup>1</sup> Eksempelvis er løsemiddelutslipp fra plast- og malingsindustrien således ikke inkludert, ei heller fra selve malerarbeidet

<sup>2</sup> Detaljeringsgraden i underlaget er ikke tilstrekkelig til å differensiere i underposter

### 3.2 Gjenbrukshus

Enebolig prosjektert for maksimalt framtidig gjenbruk av materialer og komponenter. Oppført i bindingsverk i tre på pillarfundamentering i betong, i sin helhet levert som pre-fab fra lokale produsenter. Isolasjon av cellulosefiber og løs lettklinker. Naturlig ventilasjon. Oppvarming basert på biobrensel over vannbåret anlegg<sup>1</sup>. Bruksareal 130 m<sup>2</sup>. Antatt egnet for 5 beboerne som følge av tiltak for økt arealeffektivitet og tilpasningsevne i plan og snitt.

Alle masser er hentet fra (Berge 1996) der også forventede andeler til energigjenvinning og gjenbruk er beregnet. For å sikre sammenligningsgrunnlag med Typehus er materialrelaterte utslipp utover CO<sub>2</sub> ikke medregnet.

	A: Livsløps- belastning (kg CO <sub>2</sub> -ekv.)	B: Gjennom- strømnings- belastning (kg CO <sub>2</sub> -ekv.)	A+B Nominell belastning (kg CO <sub>2</sub> - ekv.)
L 1: Driftsmessig oppvarming, belysning og elektrisk utstyr	15 288		
L 2: Produksjon, vedlikehold og riving av bygning	12 500		
L 3: Karbonlagring	-21 900		
SUM A	5 888		5 888
G 1: Tapt brennverdi på biomasse		5 803	
G 2: Verditap materialer og komponenter		1 500	
G 3: Bevart karbonlager		-13 100	
SUM B		-5 797	-5 797
SUM A+B			91

Tabell 7: Klimabelastning fra gjenbrukshus over 50 år.

<sup>1</sup> Prosjektert, men ikke gjennomført i prototype oppført i Marnardal i 1996

### 3.3 Ordning av resultater

	Typehus 135 kvm og 4 beboere, klimabelastning i kg CO <sub>2</sub> -ekvivalenter	Gjenbrukshus 130 kvm og 5 beboere, klimabelastning i kg CO <sub>2</sub> -ekvivalenter
Hele huset over 50 år	84 424	91
Pr. m <sup>2</sup> over 50 år	625	0,7
Pr. m <sup>2</sup> pr. år	12,5	0,01
Pr. bruker over 50 år	21 106	18,2
Pr. bruker pr. år	422	0,36

Tabell 8: Klimabelastningen for de to boligene, angitt etter alternative målestokker.

## 4.0 DRØFTING

### 4.1 Metode

Det kan se ut til at et klimaregnskap etter angitte metode vil gi et nyttig helhetsinntrykk av klimabelastningen fra en bygning såvel gjennom livsløpet på 50 år som i gjennomstrømningen av mer eller mindre inntakte materialer og komponenter.

Det er likevel god grunn til å gå dypere inn i såvel de enkelte postene som sammenstillingen mellom dem. Blant annet bør følgende forhold vies ytterligere oppmerksomhet:

- Regnskapets systemgrenser
- Den faktiske betydningen av vedlikeholdseffektive, renholdseffektive og tilpasningsdyktige byggemåter.
- Grundigere dokumentasjon vedr. betydningen av CO<sub>2</sub>-binding i biomasse
- Betydningen av tapt brennverdi og forutsetningene for effektiv energigjenvinning
- Generell forbedring av grunnlagsdata

Det er også opplagt at det må en betydelig forenkling til for at regnskapet skal kunne fungere som et effektivt tegnebordsverktøy. Det optimale her ville være et interaktivt dataprogram som utelukkende har behov for input av den informasjonen som normalt utarbeides i en prosjekteringsfase, som masseberegning og konstruksjons-metoder. En slik programvare vil også jevnlig kunne oppdateres på relevante grunnlagsdata i en abonnementsordning.

### 4.2 Resultatene

Det er nok en smule prematurt å reflektere videre over resultatene i de to eksempelberegningene. Det er likevel fristende å notere følgende refleksjoner:

- Klimanøytrale bygg er mulig
- Effekten av ENØK og bruk av alternative energikilder vil være betydeligere lavere enn tilsvarende i EU sålenge klimabelastningen fra elektrisetsproduksjonen ligger såvidt lavt som 0,048 kgCO<sub>2</sub>-ekv./kWh. Bruk av bioenergi til all oppvarming i Gjenbrukshuset viser seg likevel å gi en uttelling i redusert klimabelastning nesten tilsvarende den som oppnås med CO<sub>2</sub>-binding i biomasse. Men vi skal være oppmerksomme på at for utstørs-intensive energiløsninger kan de ekstra klimautslippene i produksjonsfasen ofte langt på vei vise seg å utligne reduksjonene, (Thyholt 1999).
- Transport-belastningene er ikke skilt ut i regnskapet som følge av manglende datagrunnlag i typehus-eksempelet. For en bygning på 130 kvm med samlet masse på ca. 100 tonn innebærer hver kilometer økning i gjennomsnittlig transportlengde en klimabelastning i størrelsesorden 5-12 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (sjøtransport-veitransport). Dette er betydelig. Ved således å utnytte lokale og regionale produsenter i en gjennomsnittlig transport-avstand på 50 kilometer framfor å hente produktene på det ordinære markedet, med et ikke usansynlig snitt på 250km, vil reduksjonen i klimabelasting utgjøre hele 2400 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

- CO<sub>2</sub>-bindingen i en bygning kan i prinsippet dominere et klimaregnskap. I et tømmerhus på 130kvm og et treforbruk på 400kg/m<sup>2</sup> vil karbonbindingen utligne et utslipp på nærmere 100.000 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i løpet av 100 år. Vi vil således med stor sansynlighet ende opp med negative verdier i såvel faktisk som nominell klimabelastning.

- Tap av brennverdien på biomassen kan raskt spille en betydelig rolle i klimaregnskapet. For typehuset nærmer tapet seg raskt verdien av den samlede karbonlagringen.

### 4.3 Klimabelastning som overordnet miljøparameter ?

Et regnskap for nominell klimabelastning vil kunne benyttes som et *interaktivt verktøy i prosjekteringsfasen*. Ved hjelp av dette skal det være mulig å gjennomføre de riktige avveininger, prioriteringer og valg på veien til et minst mulig klimabelastende bygg.

En innvendig mot klimaregnskapet vil være det uheldige i å plukke ut et enkelt miljøparameter og optimalisere dette. Det vil i den sammenheng være interessant å se nærmere på sammenhengen mellom klimabelastninger og andre miljøbelastninger.

Det er en kjensgjerning at reduserte utslipp av klimagassen CO<sub>2</sub> fra en virksomhet også indikerer en reduksjon av andre luftforurensninger som nitrogenoksider og svoveldioksid (SFT 2000), noe som i neste omgang henger sammen med *forsuring, overgjødning og omfanget av bakkenært ozon*. Reduksjon av klimagasser som flyktige organiske forbindelser og klorerte fluorforbindelser vil også ha en rekke tilsvarende positive tilleggseffekter. Reduserte klimagassutslipp signaliserer videre at det økonomiseres med *ressursutnyttelsen av energi- og materialråvarer*, særlig når det gjelder begrensede lagerressurser.

Noe forenklet sett står vi bare igjen med to forhold fra listen over aktuelle miljøparametre (Lindfors 1994) som ikke nødvendigvis influeres direkte eller indirekte positivt av reduserte klimagassutslipp. Først og fremst gjelder dette *miljøgifter*, dernest *vern av biologisk mangfold*. Sistnevnte vil selvsagt ha utbytte av en positiv klimautvikling, men samtidig vil f.eks en ensidig fokusering på CO<sub>2</sub>-binding i skog og planteprodukter kunne føre til massiv mono-kultivering og således utslettelse av berørte biotoper.

Med klare offentlige reguleringer og forventede internasjonale avtaler som begrenser bruk og utslipp av miljøgifter<sup>1</sup> samt verner om biologisk mangfold<sup>2</sup> har klimaregnskapet således i seg spiren til å kunne fungere som *en overordnet miljøindikator for byggebransjen*. En slik miljøindikator har framfor alt fordelen av å være relativt enkel å kalkulere, noe som muliggjør en betydelig mer effektiv miljøstyring enn om tradisjonelle og ofte meget tungroddede LCA-systemer benyttes. I tillegg til bruk i prosjektering er miljøindikatoren blant annet aktuell i Husbank-sammenheng når det gjelder tillegglån for miljøtiltak og kanskje endog i byggeforskriftene. Her kan krav om en maksimumsbelastning av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i prinsippet erstatte samtlige ytre miljøkrav. Dette gjelder trolig også energikravene ettersom det forlengst er allmen konsensus om at hovedmålsetningen med økt energieffektivitet er reduserte utslipp av CO<sub>2</sub>, (Bramslev 2000).

<sup>1</sup> SFT's OBS-liste (SFT 2000-2) er allerede et brukbart redskap som vil bygges ytterligere ut i årene som kommer. OBS-listen avspeiler i stor grad vurderingene i EU-området. Også i FN-regi pågår arbeid med å forby og regulere miljøgifter, LRTAP-protokollen m.fl..

<sup>2</sup> Retningslinjer foreligger i bl.a. "Levende skog"- programmet som trolig vil presses mot FSC (Forest Stewardship Council)-standard i løpet av få år som følge av internasjonalt og innenlands press. Lovgivning på trappene fra Miljøverndepartementet. Arbeid med internasjonalt regelverk pågår også i FN-regi.





## 5.0 KILDER

- (Aalde 1997) Olde A et al *Skog og klima. Skog og treprodukters potensiale for å motvirke klimaendringer* Landbruksdepartementet Rapport M-0683, Oslo 1997
- (Berge 1995) Berge B *Bygningsmaterialer for en bærekraftig utvikling* NKB Utskotts- och arbetsrapporter 1995:07, Helsingfors 1995
- (Berge 1997) Berge B *ADISA-structures. Principles for re-usable building construction* PLEA, Kushiro 1997
- (Berge 1996) Berge *Byggesystem for Ombruk* (NFR prosjekt BA 31483/SFT prosjekt nr. 93-622) Gaia Lista AS, Lista 1996
- (Blakstad 1997) Blakstad SH *FDV og levetid for bygd miljø. Delprosjekt: Funksjonelle levetider for bygninger* SINTEF Bygg og miljøteknikk Rapp- STF22 A 96571, Trondheim 1997
- (BNL 2001) BNL *Nasjonal handlingsplan for bygg- og anleggavfall* Byggenæringens Landsforbund 2001
- (Bramslev 1999) Bramslev K *Factors 4 and 10 in the Nordic Countries* Nordic Councils of ministers, Tema Nord Environment 1999:528, Copenhagen 1999
- (Bramslev 2000) Bramslev K *Miljøeffektivitet i bygg og eiendomssektoren* OECD-rapport, GRIP senter, Oslo 2000
- (Bye 2002) Bye T et al *Grønne sertifikater - design og funksjon* Statistisk Sentralbyrå rapporter 2002/11
- (Christiansen 1997) Christiansen H *Intervaller for vedlikehold* NBI Byggetaljer 620.015, Oslo 1997
- (Fossdal 1995) Fossdal S *Energi- og miljøregnskap for bygg* Byggforsk prosjektrapport 173, Oslo 1995
- (Fossdal 1999) Fossdal S et al *Bygningers energiforbruk og miljøpåvirkning. En studie av tradisjonelle og moderne trebygninger* Byggforsk Prosjektrapport 262/1999
- (Fossdal 2000) Fossdal S *Livsløpsvurdering av bygninger og bygningsmaterialer* Byggforskserien byggetaljer 470.101, Oslo 2000
- (Godal 2002) Godal O et al *Hvilke klimagasser er viktigst å redusere* Artikkel i Cicero nr. 1 2002, Oslo 2002
- (Häkkinen 1999) Häkkinen et al *Environmental Impact of Coated Exterior Wooden Cladding* VTT Building Technology, Helsinki 1999
- (Kristensen 1999) Kristensen T *Bygningselementer av massivtre* Norsk Treteknisk Institutt rapp. 45/1999
- (Krogh 2001) Krogh H et al *Miljøvurdering af isoleringsmetoder* By og Byg Dokumentation 012, Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm 2001
- (Lindfors 1994) Lindfors et al *Nordic Manual on Product Life Cycle Assessment - PLCA* Nordisk Ministerråd, København 1994
- (Pohjola 2001) Pohjola J *How sinks in wood products affect the cost of Climate Convention and world trade of forest products: results from a global economywide model* Finnish Forest Research Institution, West Lafayette 2001
- (Sedjo 1998) Sedjo RA et al *Carbon sinks in the Post-Kyoto World* RFF Climate Issue Internet edition October 1998

- (SFT 2000) Statens Forurensningstilsyn *Reduksjon av klimagassutslipp i Norge. En tiltaksanalyse for 2010* SFT rapp.1708/2000
- (SFT 2000-2) SFT *Helse- og miljøfarlige stoffer man skal være spesielt oppmerksom på. Miljøvernmyndighetenes OBS-liste* SFT-rapport 1711, Oslo 2000
- (SFT 2001) Statens Forurensningstilsyn *Estimating the net emission of CO2 from harvested Wood products* SFT rapp. 1831/2001
- (SSB 2001) Statistisk sentralbyrå *Statistikk over eksisterende bygningsmasse 2001*
- (Tyse 2001) Tyse R et al *Beregning av bygningers energi og effektbudsjett etter NS3032* NBI Byggdetaljer 472.314, Oslo 2001