

Klimatrappen

FUTURE
BUILT



Klimatrappen

Et notat om prinsipper for klimaeffektiv
materialbruk i FutureBuilt

Bjørn Berge, Gaia Lista
Mars 2010



Innhold

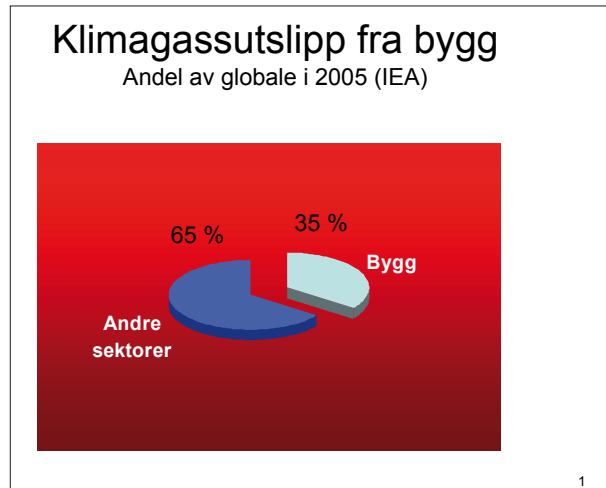
Bakgrunn	5
Klimatrappen trinn 1: Valg av klimaeffektive materialer	7
Klimatrappen trinn 2: Reduser materialforbruket	11
Klimatrappen trinn 3: Utnytt materialenes ENØK-egenskaper	18
Klimatrappen trinn 4: Utnytt materialenes klima-egenskaper	21
Oppsummering	25
Referanser	26

Bakgrunn

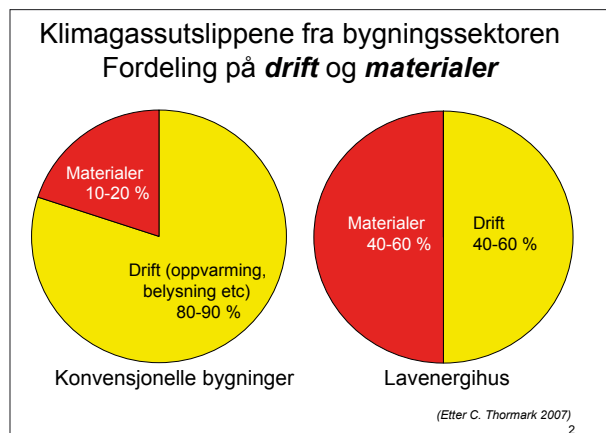
1. I globalt perspektiv bidrar byggesektoren med ca. 35% av menneskehetens utslipp av klimagasser (IEA 2005).

2. Klimagassutslippene fra bygningssektoren omfatter i første rekke utslipp knyttet til den driftsmessige energibruken i huset; til romoppvarming, til varmtvann, til belysning og bruk av tekniske installasjoner, og dernest til utslipp fra produksjon og transport av materialer og konstruksjoner. Vi snakker altså om en fordeling av klimagassutslippene på driftsbelastninger og materialbelastninger.

I konvensjonelle bygg utgjør materialbelastningene fra 10-20%. I lavenergihus og passivhus vil materialforbruket til isolasjon, tekniske installasjoner osv stige, mens energiforbruket til drift synker. Dette får som konsekvens at fordelingen mellom materialer og drift etter hvert tangerer 50-50 (Thormark 2007; Gielen 1997).



Figur 1



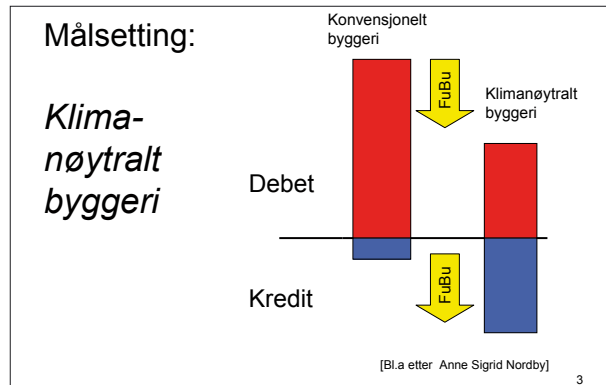
Figur 2

3. Klimabelastningene gjennom en bygnings livsløp kan summeres i en debet-side. Men vi har også å gjøre med en mulig kredit-side . Denne knytter seg i første rekke til egen produksjon av energi via solceller og vindmøller på taket i såkalte pluss-hus. Men den kan også være materialrelatert. Vi snakker da blant annet om enkelte materials evne til å binde og lagre karbon.

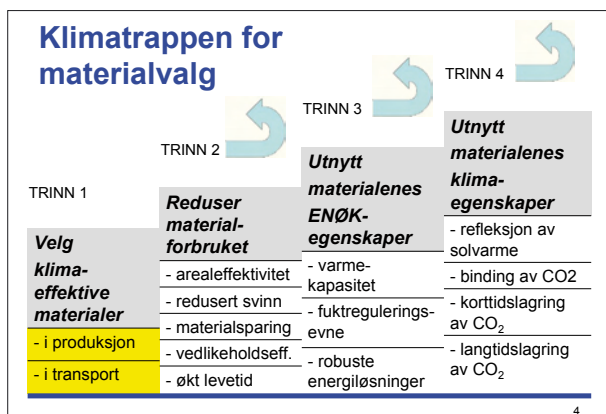
4. I det følgende vil aktuelle tiltak som angår materialbruken i dette regnskapet gjennomgås.

Gjennomgåelsen er organisert som en trappevandring i 4 trinn der trinn 1 er materialvalg, trinn 2 er materialøkonomisering. Der trinn 3 tar for seg viktige interaksjoner mellom materialbruken og energiforbruket i huset. Og til slutt trinn 4 som omhandler noen direkte vekslinger mot globalklimaet. Her ligger det nemlig potensielt store klimagevinster.

Vi må hele tiden være villige til å revidere vurderinger på tidligere trinn for å sikre et optimalt resultat.



Figur 3



Figur 4

Klimatrappen trinn 1: Valg av klimaeffektive materialer

5. En rekke klimagasser kan knyttes til produksjon og bruk av bygningsmaterialer. Den viktigste vil være karbondioksid CO₂, en forbrenningsgass som avgis fra de aller fleste produksjonsprosesser. I tillegg utvikles den kjemisk når kalk kalsineres i sementindustrien. Virkningen av andre drivhusgasser regnes normalt om i CO₂-ekvivalenter.

Av andre materialrelaterte drivhusgasser kan det være verd å merke seg oppskummingsgasser som brukes i plastisolasjon, som pentan, klormetan og hydrofluorkarboner. Dessuten vil aluminiumsproduksjonen være ansvarlig for utslipp av de høypotente drivhusgassene i gruppen Perfluorkarboner. Og til sist ekstremgassen svovelheksafluorid som kan påtreffes som fyll i lydisolerende vinduer.

6. Alle materialer har sine spesifikke utslipp av klimagasser i produksjonsfasen. Og rangeringen mellom de viktigste materialene er grovt som vist i fig. 6. Flere tall vil blant annet være å finne i Statsbyggs klimaregnskap,

(<http://www.statsbygg.no/FoUprosjekter/FoU-prosjekter-i-Statsbygg/miljo/2006/11273-Klimagasregnskap-Utbyggingsprosjekter/>)

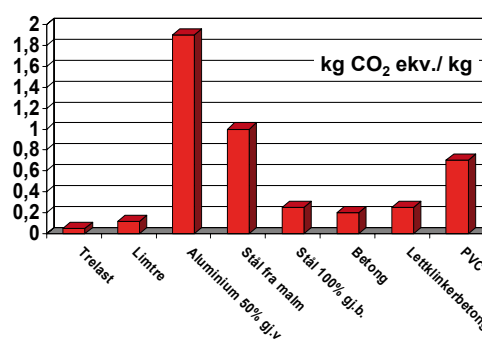
Vi ser at trevirke seiler opp som klar vinner, mens aluminium og stål og plast kommer mindre heldig ut etc. Men, vi har her utelukkende å gjøre med en sammenligning per vektenhet og altså ikke for faktiske konstruksjoner. Da vil eksempelvis betong-belastningen stige kraftig ettersom konstruksjonsvekten på betongkonstruksjoner generelt er større, og aluminium vil samtidig synke.

Klimagasser fra bygningsmaterialer

Drivhusgasser	GWP [kg CO ₂ -ekv/kg]	Kilder i produksjon, bruk og som avfall
Karbondioksid CO ₂	1	Materialer basert på fossile brennstoffer, sementproduksjon, avfallsforbrenning
Metan	21	Animalske materialer, stål og sement, avfallsbehandling
Lystgass	310	Vegetabilske materialer (kunstgjødsling), avfallsbehandling
Pentan	11	Isolasjonsskum
Klormetan	16	Plast, syntetisk gummi, isolasjonsskum
Diklormetan	15	Maling, isolasjonsskum
Hydrofluorkarboner	140 - 2000	Isolasjonsskum
Perfluorkarboner	6500 - 9200	Aluminium
Svovelheksafluorid	23900	Lydisolerende vinduer

Figur 5

Utslipp av klimagasser fra produksjon av materialer



Figur 6

7. Hvis vi sammenlikner en veggkonstruksjon av stål med en av tre vil vi se at materialforbruket for stål vil være atskillig lavere, men likevel ikke mer enn at tre fortsatt forblir det klart beste klimavalget, se fig. 7.

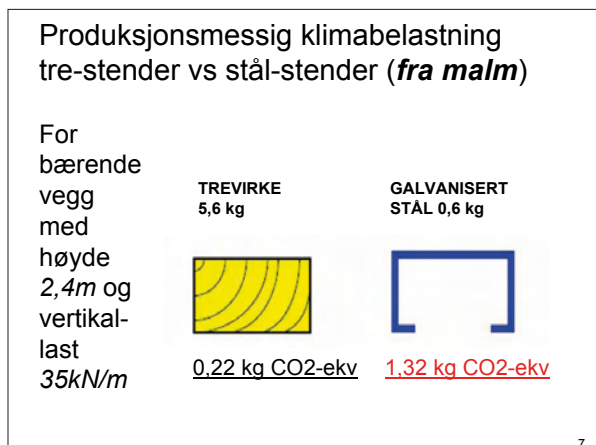
Men heller ikke dette trenger å være hele sannheten.

8. Hvis stålstenderen produseres 75% fra gjenvunnet materiale vil stålalternativet fortsatt ligge an som det mest klimabelastende valget, men avstanden til trestenderen er halvert.

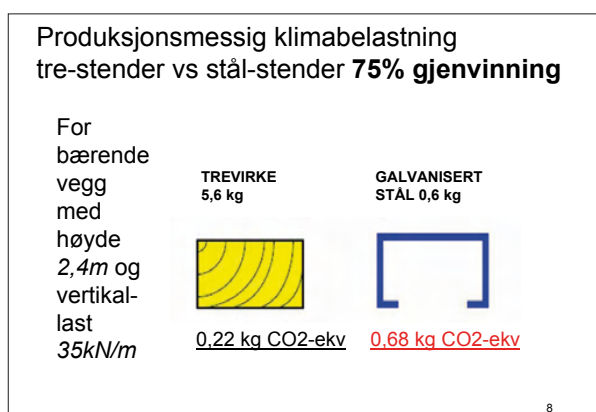
Vi må regne med at de tradisjonelt store forurensere, som sement- og stålindustrien, stadig oftere vil framby mer klimaeffektive produkter i årene som kommer. De har mye å vinne og vil lett kunne gjøre store byks nedover på skalaen, mens det f.eks. for trevirke er mindre å gå på.

9. Sementindustrien er et godt eksempel på at det er et potensial for å skjerpe seg. Klimagassutslippene fra produksjonen av tradisjonell Portlandsement fordeler seg i utgangspunkt med ca 40% fra energiforbruket og ca. 60% fra de kjemiske utslippene av CO₂ som oppstår når kalken kalsineres. Kalk er hovedingrediensen i konvensjonell sement, og jo mindre kalk som trenges i blandingen, desto mindre CO₂ blir det frigitt. Flyveaske som er et avfallsstoff fra oljedrevne kraftverk på kontinentet, kan et stykke på vei erstatte kalk. Helt opp i 35% flyveaske benyttes

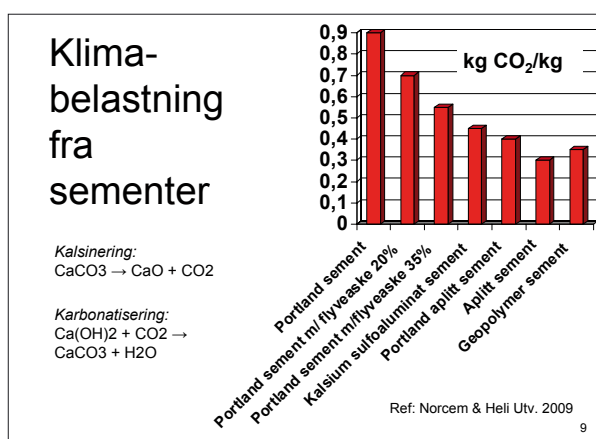
i sementen i nybygget til Meteorologisk institutt på Blindern. Dette får stor



Figur 7



Figur 8



Figur 9

betydning for klimabelastningen som synker til ca. 60%.

Samme prinsipp ligger bak noen av de enda mer klimavennlige sementene, der kalken i kalsium sulfo-aluminat sement delvis erstattes med aluminium oksid i en prosess som også gir et lavere energiforbruk. Denne er ikke i salg i Norge per i dag, men er en av de viktigste sementene i Kina. I aplitt-sement erstattes nesten all kalken med reaktiv kvarts. Denne sementen er under utvikling i tilknytning til større aplitt-forekomster i Trøndelag, og vil trolig være klar i løpet av et års tid. I første omgang lanseres en aplitt hybridsement med ca. 40% portlandsement, men også her vil effekten være god. Som vi ser til ca. halv belastning av konvensjonell sement.

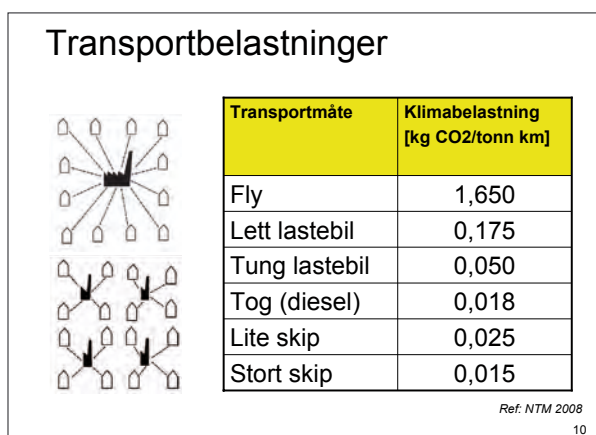
Til slutt har vi såkalt geopolymers sement der kalken droppes i sin helhet og erstattes med natriumoksid som produseres fra koksalt. Akkurat denne prosessen er dessverre relativt energikrevende slik at vi fortsatt ender opp med et merkbart klimagassutslipp.

Aplitt-sementen ser således ut til å være det mest lovende alternativet, så langt. Men bildet vil kunne endre seg noe hvis vi tar inn livsløpsaspektet. For kalkholdige sementer henter opp igjen noe av det kjemiske CO₂-utslippet gjennom levetiden.

Prosessene kalles karbonatisering og er egentlig en nedbrytingsprosess under påvirkning av luft. Her kan ca. 70% av de kjemiske CO₂-utslippene bindes tilbake over en 50-års periode for en tynn puss basert på portlandsement, mens tilbakebindingen for tykkere konstruksjoner sjeldent vil overskride 10-15% i løpet av denne perioden. Det er

usikkert hvordan dette skal innkalkuleres i klimaregnskapet. Re-absorpsjonen kommer lovlig sent, og reduserte utslipp er noe vi ønsker oss så snart som mulig.

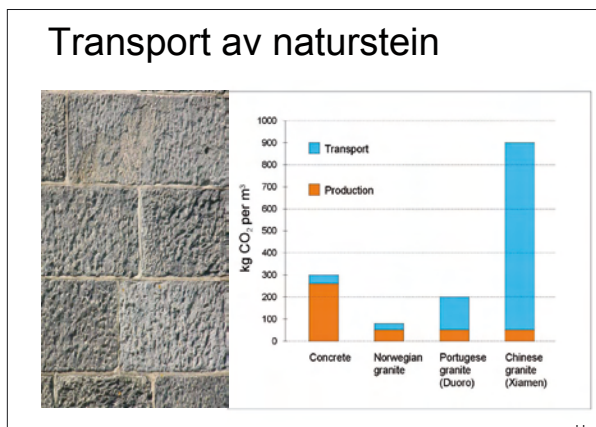
10. I tillegg til produksjon skal byggevarene også fraktes. Slik transport skjer nesten utelukkende basert på fossilt brennstoff, og utslippene blir betydelige (NTM 2008). Mens fly selvsagt er det mest belastende transportmiddelet, vil frakt med stort skip komme best ut av det, men da dreier det seg vanligvis om interkontinentale transporter som er lange uansett.



Figur 10

11. Som eksempel på langtransporterte produkter kan vi se nærmere på granitt til parkanlegg, som kantstein på fortau osv. Granitt kommer i produksjon-sammenheng ut med atskillig lavere klimabelastning enn tilsvarende i betong. Men om vi samtidig da innkalkulerer transport kan dette raskt endre seg. Produkter fra steinbrudd i Norge og Portugal vil fortsatt komme bra ut, men disse er vanligvis for kostbare for kunden. Nesten alt som brukes av granitt i Norge i dag hentes derfor fra Kina og dermed blir betong et desidert bedre klimavalg (Berge 2005).

I løpet av de senere årene har byggemarkedet blitt stadig mer globalisert, og i dag er det slett ikke uvanlig å hente sement fra Polen og isolasjonsmaterialer fra England. I byggeboomen for et par år tilbake kom endog mye av mineralullen fra Mexico. Og vi ser at en rekke leverandører, kanskje særlig innenfor det vi kan omtale som det økologiske segmentet, satser på langtransporterte produkter; som hampe-isolasjon fra Østerrike, som utvendig kledning av sibirsk lerk, som golv av laminert bambus fra India og av massiv Douglas gran fra USA, osv. Her må vi regne med at transportandelen av klimabelastningene blir betydelig, og til dels kanskje overskrider de produksjonsmessige belastningene.



Figur 11

Klimatrappen trinn 2: Reduser materialforbruket

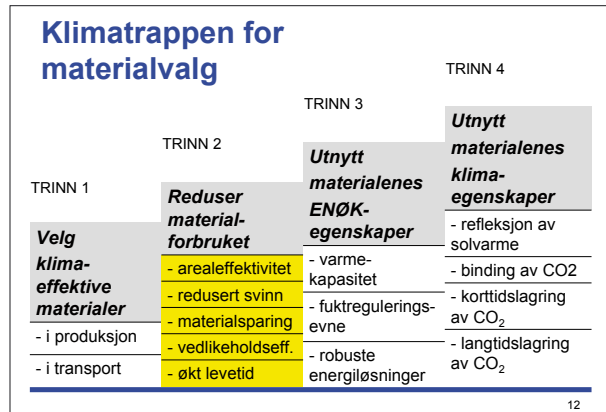
12. Vi er nå kommet til det stadiet at materialene er valgt, og da fortrinnsvis som et knippe av lokale produkter der de produksjonsmessige klimagassutslippene samtidig er så lave som mulig.

Trinn 2 på Klimatrappen vil så være å redusere selve materialbestillingen til et minimum, å økonomisere materialforbruket så vel i oppføringsfasen som i senere drift og vedlikehold.

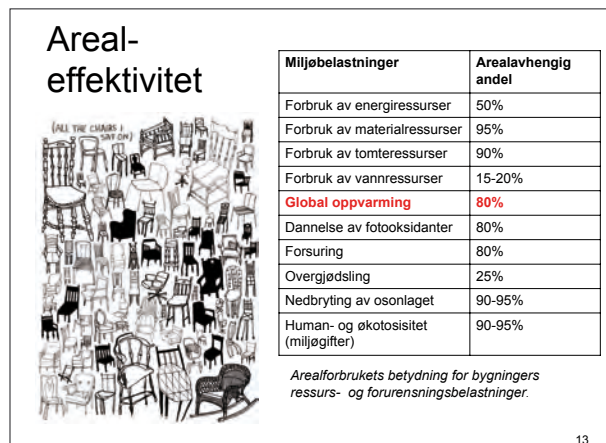
13. Arealeffektivisering er den mest effektive måten å redusere klimagassutslippene fra byggesektoren på. Hele 80% er direkte knyttet til arealforbruket (Berge 2003). Dette omfatter ikke bare de materialrelaterte utslippene, men selvsagt også utslippene som knytter seg til drift av bygningene, som oppvarming, belysning osv.

I boliger vokste arealforbruket fra 29 til 51 kvm per person fra 1967 til 2000. Videre utvikling i denne retningen kan forebygges ved å utforme bygningene med større tilpasningsdyktighet, der flere innfallsvinkler er aktuelle.

Økt generalitet innebærer at bygningene er så vidt generelt og allment utformet at de lett kan tilpasses ulike bruksmønstre, endrede husholdningsstørrelser etc uten større forandringer. Ved økt fleksibilitet muliggjøres raske endringer av planløsninger og tekniske systemer uten større inngrep i bygningens struktur. En elastisk bygning kan utvides eller krympes etter behov og således kontinuerlig effektivisere arealbruken.



Figur 12



Figur 13

14. I tillegg til tiltak for arealeffektivisering har vi en rekke enklere metoder for å krympe materialforbruket. Vi kan starte med å redusere materialsvinnet på byggeplassen. Plass-støpt betong vil eksempelvis ha et betydelig svinn i forhold til om det brukes betongelementer. Et riktig valg her vil kunne ha stor positiv innvirkning på bygningens klimaregnskap. Likeledes vil bygningsplater ofte ha et svinn på 10-20%, noe som kan reduseres betydelig ved god planlegging der blant annet stenderne følger platemålene. Et annet eksempel er varmeisolasjon, der løsfyll-isolasjon kommer ut omtrent uten svinn, mens matter ligger mellom 5 og 10%.

15. Innenfor hvert enkelt materiale vil også de ulike konstruksjonsmåtene ha varierende mengdeforbruk. Oversikten i fig. 15 viser bæreevnen for ulike pilarer med samme mengde stål. Det viser seg å være mye å hente på å velge den riktige profilen, og vi ser at en vanlig H-profil scorer dårligere enn nesten alle andre alternativer. Bæreevnen er bare halvparten av tilsvarende for en pilar med trearmet profil. Dessverre er ikke dette tatt helt til følge av stålindustrien per i dag, som nesten jamt satser på nettopp disse H-profilene.

16. Og det ser ikke spesielt mye bedre ut når vi tar for oss bjelker, der en gitterdrager kan bære like mye som en H-drager med 1/3 av materialinnsatsen.

Svinn på byggeplass

Materiale	Svinn
Betong, in situ	15 %
Betongelementer	7 %
Gipsplater	20 %
Trepanel	10 %
Matteisolasjon	5 – 10 %
Løsfyll-isolasjon	1 %

14

Figur 14

Materialbesparende stålpilarer

BÆREEVNE	BÆREEVNE
■ 1750 kg	⊥ 5210 kg
□ 5360 kg	⊕ 6400 kg
○ 7000 kg	⋈ 10600 kg

Stål-pilarer med samme materialmengde (0,13 kub.meter) og samme lengde (5 meter), men med varierende bæreevne

Etter: Reitzel 1975

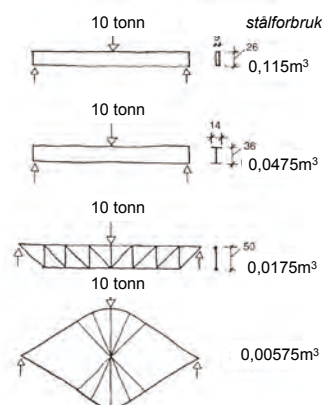
15

Figur 15

Materialbesparende stålbjelker

Materialforbruk i stålbjelker med bæreevne 10 tonn og spennvidde 5m

Etter: Reitzel 1975



16

Figur 16

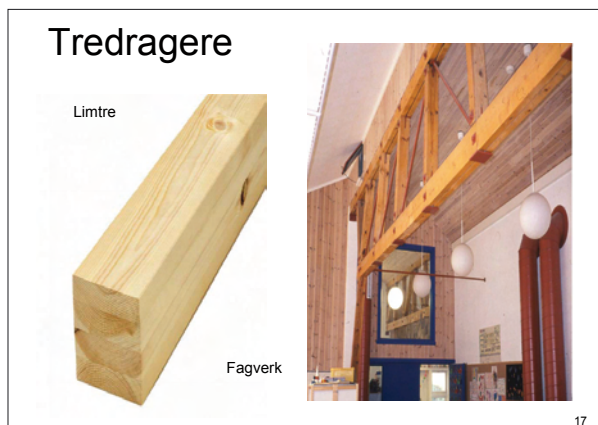
17. Tilsvarende eksempler kan hentes fra treindustrien. En tradisjonell fagverksdrager kan produseres med ca. 30% lavere energiinnsats enn en tilsvarende limtre drager, i første rekke som følge av redusert treforbruk (NTI). Et spørsmål som kanskje ligger noen på tungen akkurat når det gjelder trevirke er den omfattende bruken av massivtre som vi nå ser at brer så kraftig om seg, og i miljøets navn. Dette er ikke umiddelbart helt logisk. Jeg skal komme tilbake til akkurat denne problemstillingen litt senere, (avsnitt 41).

18. I stedet vil jeg vise nok et eksempel på materialsparing. Her dreier det seg om taktekking der man kan velge korrugerte sementplater som veier 8kg/m² framfor betongtakstein som veier 35kg/m². Og levetiden er omtrent den samme.

19. Av tabellen i fig. 19 ser vi at lette konstruksjoner også kan ha positive tilleggseffekter, i første rekke ved å kreve mindre betong i fundamenteringen enn tunge bygninger. Men som dere av tabellen er dette helt avhengig av grunnforholdene og har bare gyldighet der disse er svake.

20. Når så bygget er oppført, må materialsparingen fortsette. Vi snakker da om å redusere behovet for vedlikehold og utskiftinger. Man kan i utgangspunkt akseptere omtrent dobbelt så store klimagassutslipp i produksjonen av et materiale som varer dobbelt så lenge.

Men, selv om vi kanskje tror at vi har funnet fram til de beste materialene i denne sammenheng, kan vi likevel lett gå på en smell. En viktig faktor her er den forventede klimautviklingen der særlig hyppigere frost/tine-sykluser og økt



Figur 17



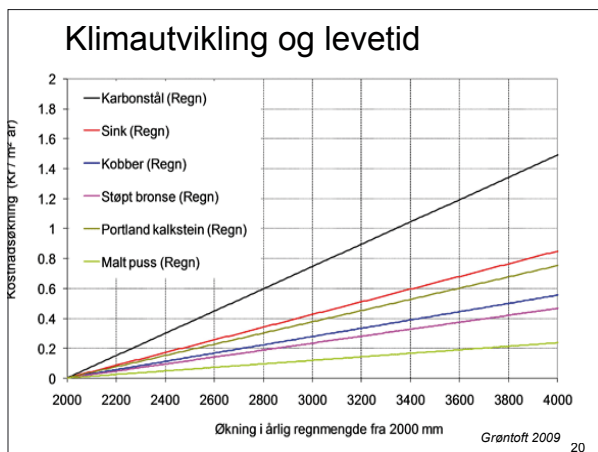
Figur 18

Konstruksjonenes vekt
Betydning for fundamenteringsbehovet

Bygningens vekt	Myr → løs leire [kg betong/kvm]	Fast leire → sand og grus [kg betong/kvm]
Lett (tre og stål)	150	100
Tung (tegl og betong)	250	100

Etter: Gielen, 1997

Figur 19



Figur 20

nedbør vil ha betydning. Grafen i fig. 20 (Grøntoft 2009) viser beregnet økning i årlige vedlikeholdskostnader for ulike kledningsmaterialer når regnmengden øker.

Vi ser at kledninger av karbonstål og til dels også sink må anses som lite heldige investeringer.

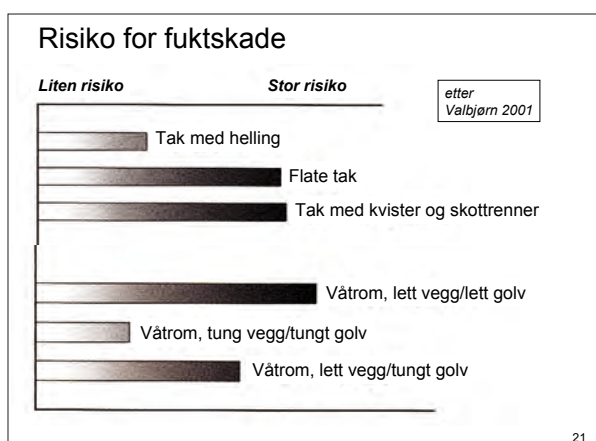
21. I tillegg til selve materialkvaliteten er også konstruksjonsmetodene som velges avgjørende for levetiden.

I fig. 21 ser vi en oversikt over fuktrisiko laget på bakgrunn av 16 000 bygninger av forskjellig slag som ble undersøkt i Danmark i 2001 (Valbjørn 2001). Vi ser her betydningen av ulike takformer og våtromsløsninger, der blant annet risikoen for fuktskader viser seg å være mer enn dobbel så stor for flate tak. Og like ille blir det hvis vi tukler til takflaten med kvister og skottrenner.

Også våtrom montert direkte på trebjelkelag kommer dårlig ut.

22. I denne oversikten har man ikke fått meg seg trendene i mye av den moderne trearkitekturen, der minimaliserte takutspring, utkragende vegger og inntrukne balkonger ofte er viktige formelementer. Alt sammen løsninger i klar konflikt med retningslinjene i såkalt konstruktiv trebeskyttelse.

Og for å få det til sånn noenlunde kreves betydelig ekstrainsats med tetting og beslag av aluminium, stål og ulike plastoffer, alt sammen materialer med kraftige klimaavtrykk.



Figur 21



Figur 22

23. Når det gjelder balkonger, bør disse selvsagt henges utenpå bygningen og med god avrenning.

24. Og når det gjelder våtrom, kan disse bygges opp som rent mineralske konstruksjoner på bakken eller som selv bærende mineralske tårn opp gjennom etasjene i leilighetsbygg og kontorbygg.

25. En rekke sjikt og komponenter i huset vil uansett utsettes for slitasje, og de må vedlikeholdes og skiftes ut. Det er likevel om å gjøre å redusere materialforbruket ved slike tiltak.

Som eksempel har vi følgende alternativer når det gjelder et veggjørne, se fig. 25 (Berge 2009). Det kan være permanent sammensatt og av lav kvalitet som i Type A. Dette er den vanlige løsningen i de fleste bygninger, og innebærer at også de tilliggende veggene må rives når hjørnet blir utslitt. Type B finner vi i første rekke i bygninger av høyere standard, eksempelvis er det mye slikt i Norges Bank-bygget i Oslo. Og hvis dette også gjennomføres med påkostede kobberprofiler er man nok like langt i klimasammenheng. Type C må betegnes som en mellomløsning der den mest utsatte komponenten er ekstra lett å skifte ut. Tilliggende materialer bevares dermed som før, og klimabelastningen fra tiltaket må regnes som marginal.

26. Til venstre i fig. 26 et utvendig veggjørne på gateplan i Trondheim sentrum. Det er nok i god takt med tidens smak, men altså i klar konflikt med ressursbevaring og klimaeffektivitet. Bygget er bare et par år gammelt, og vi ser allerede gnagemerkene rundt spissen. Til høyre en hjørneløsning der smekkerheten fortsatt må sies å være inntakt.



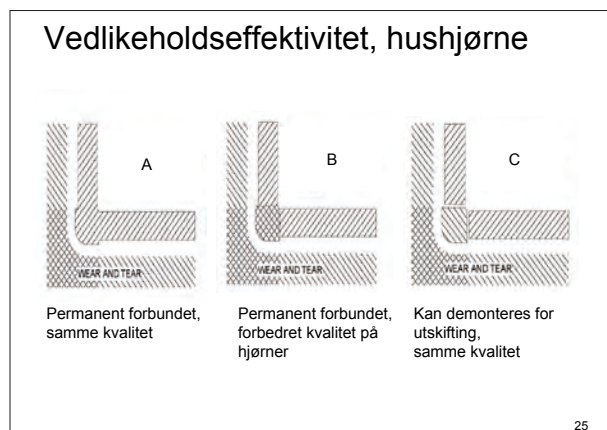
23

Figur 23



24

Figur 24



25

Figur 25



26

Figur 26

27. I fig. 27 ser vi et par golvkonstruksjoner for forenklet vedlikehold. Til venstre et belegg som tar utgangspunkt i at et tregolv slites ujevnt, med høyest slitasje i gangsonene. Istedenfor å skifte ut hele golvet etter 15 år kan man begrense utskiftingen til de bordene som er berørt.

Til høyre et belegg lagt over vannbåren golvvarme. Slike anlegg har begrenset levetid og lekkasjer vil oppstå på sikt.

Med betongstøp vil hele golvet da måtte brytes opp. Her er rørene lagt i et komprimert steinstøvlag og overdekket med teglplater i kalkmørtel. Da holder det at man bikker bort noen steiner, som deretter raskt legges tilbake etter at reparasjonsarbeidet er utført. En operasjon som kan gjennomføres praktisk talt uten materialsvinn.

28. En annen teknikk for å redusere risiko knyttet til vannbårne anlegg vil være å plassere heteflatene i vegg eller himling, begge deler teknikker som nå også er i ferd med å få fotfeste i Norge, etter å ha vært populære på kontinentet gjennom flere år.

29. Vi ønsker altså kunne skille de ulike sjiktene i huset som har ulike hastigheter, ulike levetider, og således lettere kunne hente ut det som forvitrer først.

I den sammenheng skal vi være oppmerksom på at det internt i de enkelte materialene også kan være ulike hastigheter. Det dreier seg da om såkalte multimaterialer, eksempelvis som laminater. Eller som i Moelvans nylanserte stender Iso3, utført i trevirke og oppskummet polyuretanplast. I slike produkter vil enkelte sjikt brytes fortere ned enn andre, noe som fører til at hele komponenten

Vedlikeholdseffektivitet, belegg



27

Figur 27

Lavtemperatur vannbåren takvarme

Hannes lekestue, Tjensvoll



28

Figur 28

Monomaterialer vs multimaterialer



Multimaterial-komponent



Monomaterial-komponent



29

Figur 29

må byttes ut og kastes. Dermed får man ikke optimalisert levetiden for de andre materialene som inngår.

30. Og når huset engang forfaller eller av annen grunn rives, er det selvsagt best å ta vare på de materialene som fortsatt er intakte og bruke dem på ny, gjerne gjennom flere hus-generasjoner.


Materialgjenvinning innebærer at materialet smeltes eller brytes ned i sine enkelte bestanddeler som så benyttes som ingredienser i nye produkter.

Dermed spares så vel råvarer som deler av klimagassutslippene knyttet til bearbeidingen av disse. Uttellingen vil generelt være størst for metaller.

Men gevinsten vil bli enda større ved direkte ombruk der komponenten i sin helhet benyttes om igjen. At en komponent utnyttes gjennom to husgenerasjoner innebærer grovt sett at klimabelastningen halveres. For å oppnå høy ombrukbarhet må så vel materialene som konstruksjonene de inngår i oppfyller strenge krav til demonterbarhet, komponentutforming og materialsammensetting, se fig. 30 (Nordby 2009).

31. Og av det som ikke kan brukes på ny kan det organiske materialavfallet forbrennes til energiformål, for eksempel i fjernvarmeanlegg. Forbrenning av trevirke regnes som klimanøytralt. Forbrenning av plast derimot, har samme CO₂-utslipp som fossile brennstoffer. Selv om noe blir gjenvunnet vil plast alltid bli brent til slutt og bør således tillegges denne belastningen allerede i første fase av materialutvelgelsen vår.

Konstruksjon-prinsipper for ombruk
etter (Nordby 2009)



Begrenset materialvalg
Minimér antall materialer, bruk monomaterial-komponenter, unngå overflatebehandlinger

Lang levetid
Holdbare komponenter, toleranse for demontering, god estetisk kvalitet

Høy generalitet
Standardiserte dimensjoner, lett håndterlige komponenter, lav kompleksitet

Fleksible forbindelser
Reversible forbindelser tilrettelagt for parallell demontering

Fornuftig lagdeling
Uavhengig hovedkonstruksjon, plassering etter forventet levetid

Tilgjengelig informasjon
Merking av materialer og festepunkter

30

Figur 30

Klimabelastning fra plast
Produksjon og forbrenning

Plast	Produksjon [kg CO ₂ /kg]	Forbrenning [kg CO ₂ /kg]
Polyetylen PE	1,6	3,2
Polypropylen PP	1,65	3,2
Polystyren EPS	3,5	3,55
Polyuretan PUR	14,5	2,2
Polyvinylklorid PVC	3	1,45

31

Figur 31

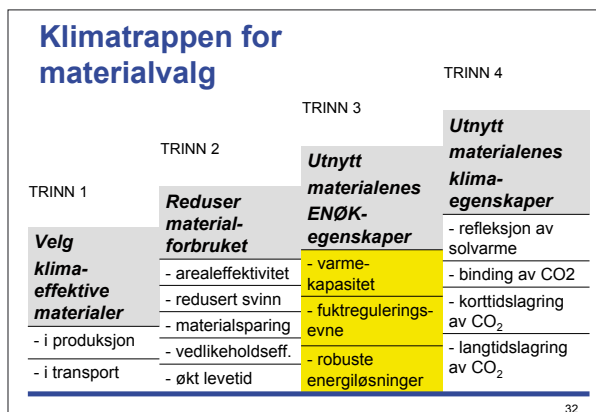
Klimatrappen trinn 3: Utnytt materialenes ENØK-egenskaper

32. I huset vil det forekomme mange samvirkninger mellom materialene og det driftsmessige energiforbruket. Flere av disse kommer i tillegg til ENØK-oppgaver som materialene allerede takler i et konvensjonelt hus, som varmeisolasjon og lufttetting. Vi snakker i første rekke om å utnytte materialenes temperaturregulerende og fuktregulerende egenskaper.

33. I fig. 33 gis en grov oversikt over betydningen av høy varmekapasitet for ulike bygningstyper på en sentraleuropeisk lokalitet (Kram 2001) som langt på vei vil avspeile klimasituasjonen i Norge mot slutten av inneværende århundre. Det viser seg at gevinsten er størst når den tunge massen ligger på innsiden, og her kan det være opp mot 10% å spare på energiforbruket til oppvarming. Kjølegevinsten er ikke tatt med i denne oversikten, men vil kunne være betydelig, særlig i yrkesbygg.

I simuleringen er det tatt utgangspunkt i betong som har en aktiv reguleringsdybde over døgnet på ca. 5 cm.

34. Det finnes også andre og mindre klimabelastende materialer som kan gjøre denne jobben, eksempelvis ubrent tegl. Også såkalte faseskiftende materialer (PCM) kan tilsettes i puss og gipsplater (Hasenöhrl 2009). De består gjerne av en syntetisk voks som smelter ved 23 grader og stivner igjen ved 22 grader. I disse overgangene tar den henholdsvis opp og gir fra seg store mengder energi,



Figur 32

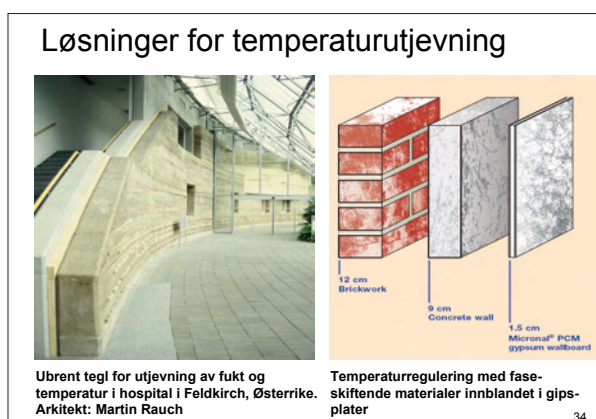
Konstruksjonens vekt
Betydning for energiforbruk til oppvarming lokalitet i sentral-Europa

Utv./innv. konstruksjon	Enebolig [%]	Boligblokk [%]	Kontorbygning [%]
lett/lett	100	100	100
lett/tung	85	94	94
tung/lett	95	100	98
tung/tung	103	103	93

Etter: (Kram 2001)

33

Figur 33



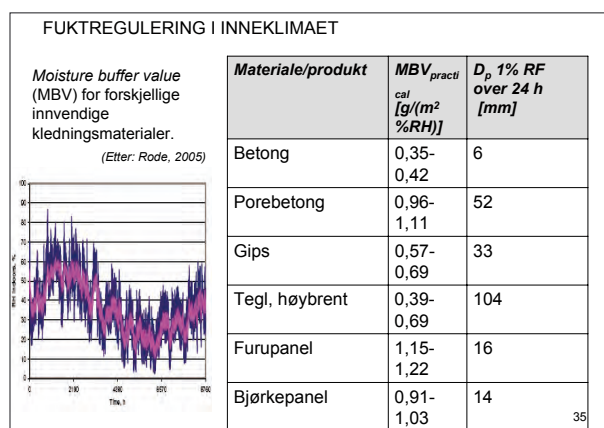
Figur 34

som således sørger for at den 12mm tykke gipsplaten stabiliserer innetemperaturen like godt som 9 cm betong og 12 cm tegl vil gjøre det, <http://www.micronal.de/> . Hvis vi så vender tilbake til veggen av ubrent tegl så vil den i tillegg til å ha gode temperaturregulerende egenskaper også være meget hygroskopisk. Dette innebærer at den er i stand til å regulere fuktsituasjonen i inneluften effektivt.

35. For høy luftfuktighet og overtemperatur er de to viktigste grunnene til å ventilere en bygning. Når vi kan takle disse forholdene med materialene, kan vi i prinsippet også redusere ventilasjonsbehovet drastisk. Dette vil ha stor betydning for energiforbruket.

I grafen til venstre i fig. 35 ser vi hvordan fuktinnholdet i inneluften styres av materialene i en bygning med henholdsvis overflater uten hygroskopisitet i blått og med høy hygroskopisitet i rosa. Til høyre en oversikt over fuktregulerende egenskaper i noen materialer. Vi snakker om såkalt moisture buffer value MBV og ser at porebetong og trevirke kommer meget godt ut (Rode 2005).

Jeg skal ikke gå dypere i dette, blant annet fordi slik materialbruk foreløpig ikke aksepteres som kompenserende tiltak i ventilasjonsdelen av byggeforskriften. Og i enda mindre grad i den kommende passivhus-standard, dessverre. Men jeg kan ikke fri meg fra å påpeke at en gjennomføring med stor vekt på temperatur- og fuktregulerende materialer ikke bare reduserer ventilasjonsbehovet generelt, men også vil åpne for bruk av naturlig ventilasjon. Dermed vil vi kunne spare forbruket av elektrisk energi til drift av vifter og varmegjennvinnere



Figur 35

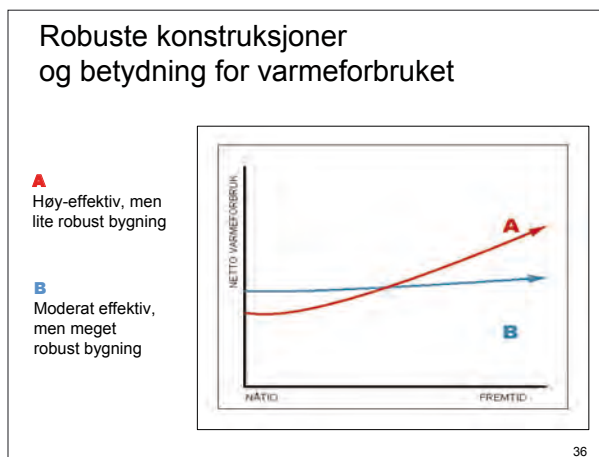
(Marsh 2006). Vi vil også kunne redusere klimagassutslippene som er knyttet til produksjon av tekniske installasjoner. Disse utgjør normalt ca 10% av de samlede materialbelastningene.

36. Et ytterligere argument for naturlig ventilasjon vil være at slike løsninger er robuste, uten bevegelige deler som krever stadig inspeksjon for å holde funksjonaliteten og energieffektiviteten på topp. Dette har ofte vist seg å være vanskelig, særlig i boligsammenheng. De kompliserte energisystemene forfaller og energieffektiviteten synker raskt (Crump 2009).

Kritisk forfall kan også oppstå i andre deler av konstruksjonen. Flere av energiløsningene som nå er i ferd med å bli vanlig byggepraksis, kan vurderes som mindre robuste. Selv om energikravene innfris ved ferdigstillelse, er risikoen til stede for at skader og forvitring i bygningskroppen vil kunne undergrave dette etter noen år.

Eksempel på en særlig foruroligende løsning vil være teiping av lufttettesjikt (Bøhlerengen 2002). Limet vil ha begrenset levetid og sjiktene er vanligvis utilgjengelige for inspeksjon og vedlikehold. Skjøter bør selvsagt heller klemmes mekanisk. Et annet eksempel kan være den økte risikoen for kondens som er funnet i supertykke isolasjonssjikt, særlig når det benyttes isolasjonsmaterialer uten fuktkapasitet (Follerås 2007).

Det kan derfor være grunn til å reflektere over muligheten av å gå noe ned på energieffektiviteten i ferdigstillelesøyeblikket, og heller fokusere mer på løsningenes levetid.



Figur 36

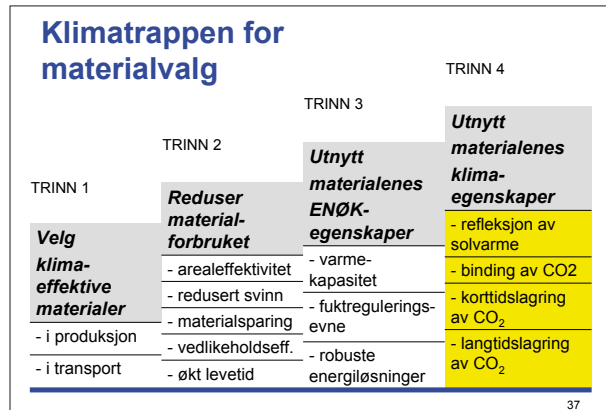
Klimatrappen trinn 3: Utnytt materialenes klima-egenskaper

37. Vi har nå undersøkt muligheten for å utnytte ulike vekselvirkninger mellom det driftsmessige energiforbruket og materialene i huset. La oss så se videre på mulige direkte positive interaksjoner mellom bebyggelsen og globalklimaet.

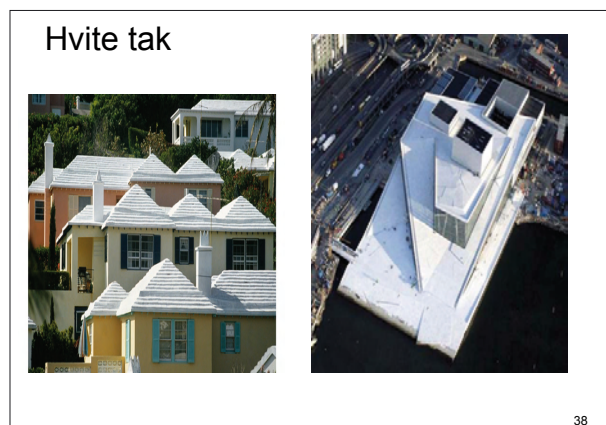
38. De såkalte white roofs ble lansert av noen amerikanske forskere for et par år siden (Akbari, 2008). En truende effekt av nedsmeltingen av pol-isene vil være at tilbakerefleksjonen av solstråling til verdensrommet reduseres. Et stykke på vei kan dette kompenseres med hvite overflater på bygg og uteområder. Man regner at ca. 1% av jordens overflate består av bygninger, fortau, veier og plasser. Hvis alle disse gjøres hvite, vil det nulle ut effekten av et CO₂-utslipp på 44 milliarder tonn. Dette er riktignok ikke mer enn 1,5 ganger de globale menneskeskapte utlippene i løpet av et år, men likevel absolutt verd å ta med seg. Og som bonus kan vi legge til en innsparing i energiforbruk til kjøling på ca. 20%.

Men alt dette gjelder dessverre i første rekke for tropiske og tempererte strøk. Hos oss vil omfattende bruk av hvite tak snarere kunne øke energibehovet til oppvarming ettersom mengden innstrålt solvarme til taket reduseres.

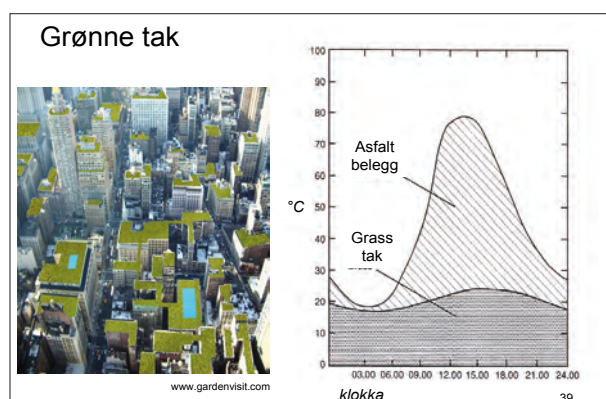
39. Et mer relevant alternativ for oss vil være grønne tak. Tak kan beplantes med gress, men også busker og trær er aktuelle, selv om dette krever dypere jordsmonn og således kraftigere konstruksjoner. Grønne tak tar vel vare på innstrålt solvarme i



Figur 37



Figur 38



Figur 39

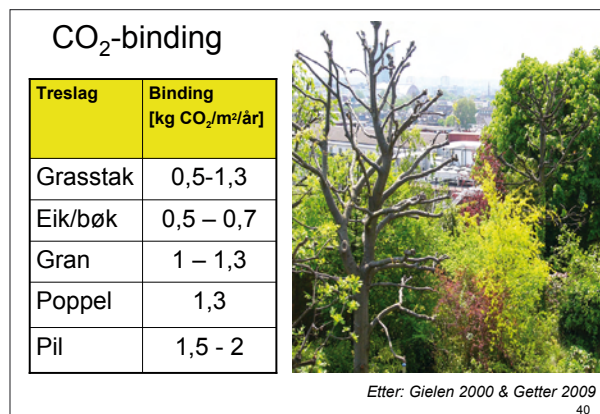
vinterhalvåret. Samtidig bidrar de til å stabilisere lufttemperaturen i bystrøk så vel som i det enkelte huset sommerstid, og reduserer dermed kjølebehovet.

40. Planter binder også CO₂ fra luften gjennom fotosyntesen og lagrer den som karbon i stengel, røtter og i omkringliggende jordsmonn.

I et gresstak kan det bindes opp til 1 kg CO₂/m² i året under gunstige omstendigheter (Getter 2009). Men det mest produktive i denne sammenhengen er et pilekratt som kan lagre inntil 2 kg CO₂/m² (Gielen 2000). Dette vil utgjøre hele 100 kg CO₂/m² over en bygnings levetid på 50 år, men forutsetter at taket stelles og høstes jevnlig for deretter å gjenplantes. En rotasjonstid for pil vil være ca 15 år. Men med i regnestykket må vi ikke uteglemme den ekstra klimakostnaden som vil knytte seg til forsterkede konstruksjoner og tettesjikt.

41. Når pil eller annet trevirket hogges, vil karboninnholdet være inntakt slik at trematerialene vi bruker i huset vil representere nedbundet og lagret karbon. Vi regner at 1 kilo tørt trevirke innebærer en nedbinding av ca. 1,7 kg CO₂ fra lufta, da i form av ca. 0,5 kilo karbon og hvor resten av CO₂-molekylet er avgitt som oksygen (Flugsrud 2001).

I en bygning av massivtre kan treinnholdet nå opp i mellom 300 og 400 kg per m² (Berge 2004). Resultatet blir dermed en nedbinding av over et halvt tonn CO₂ per m². Men husk at denne binding bare varer så lenge huset står og materialet er inntakt. Deretter slippes CO₂-en ut igjen ved forbrenning eller ved kompostering. Det er altså snakk om et relativt kortvarig



Figur 40



Figur 41

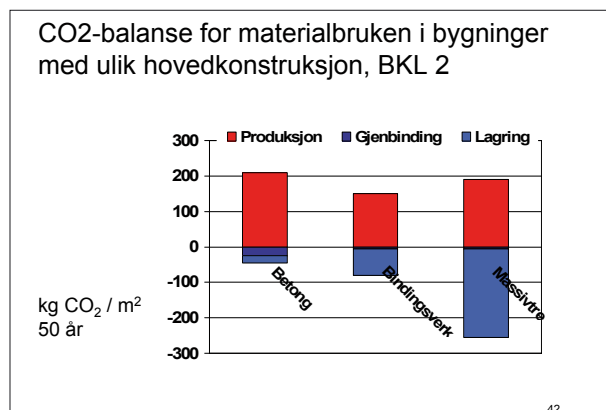
mellomlager som i beste fall kan kjøpe tid for det globale samfunnet til å takle klimaproblemene. Hvis denne anledningen ikke benyttes, går vinninga opp i spinninga, og karbonlagringen vil være uten betydning.

Om man skal tillegge karbonlagring i trevirke vekt i et klimagassregnskap vil således i bunn og grunn være avhengig av om man tror på politikernes handlekraft. Og optimistene blant oss kan droppe all materialøkonomisering når det gjelder treprodukter. Det vil være mer å hente på økt karbonlagring enn på redusert treforbruk.

42. Den potensielle betydningen av karbonlagring er vist i fig. 42. Her sammenlignes effekten for bygninger med ulik hovedkonstruksjon over en levetid på 50 år.

I Kyotoprotokollen forholder man seg generelt til en forventet gjennomsnittlig levetid for CO₂-gass i atmosfæren på 100 år, noe som innebærer at et lager som varer gjennom en husgenerasjon på 50 år bare får halv godskriving. Likevel ser vi at karbonbindingen i et komplett massivtrehus mer enn nuller ut alle produksjonsbelastningene knyttet til materialbruken

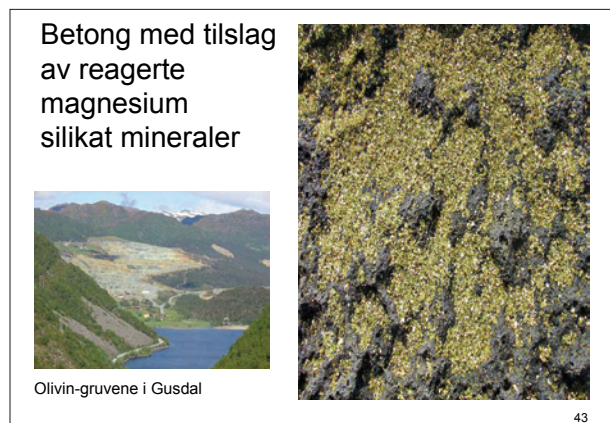
I oppsettet er også tilbakebinding (karbonatisering) av CO₂ i betong tatt med. Som vi ser utgjør denne ikke særlig store andeler.



Figur 42

43. Mens effekten av karbonbinding i trevirke altså bare er temporær kan en mer permanent lagring oppnås med magnesiumsilikater som er hovedbestanddelen i bergartene olivin og serpentin, der de globale forekomstene er store. Dette er mineraler som absorberer og binder ned CO₂ praktisk talt permanent i en kjemisk reaksjon som ender opp i silika og magnesitt. Prosedyren går i korthet ut på at nedknust olivin spres tynt ut på åpne flater og får ligge der et par år til full CO₂-binding er oppnådd. En kilo olivin har da bundet ned ca. 0,6 kilo CO₂ (Schuiling 2006; Monsen 2009).

Silika kan så benyttes enten i sementproduksjon etter som den er potensielt reaktiv, eller den kan tilsettes betonger som tilslag. Magnesitt er hovedingrediensen i det såkalte magnesittgolvet som er så vel elastisk som fotvarmt. Vi kan dermed få plass til store mengder permanent nedbundet CO₂ i husene våre. Men bør da samtidig ha i mente at en slik operasjon vil kreve så vel store naturinngrep i utvinningsfasen som beslagleggelse av enorme landarealer til å spre ut den nedknuste steinen på, noe som man kanskje likevel må akseptere i et visst monn.



Figur 43

Oppsummering

44. Det er ganske klart at det ikke finnes et eller noen få overordnede enkelttiltak som kan sørge for at husene våre blir klimanøytrale (fig. 3). Vi er nødt til å ta i bruk et bredt spekter av ulike metoder, der et utvalg av de mest lovende er presentert i fig. 44. Arealeffektive løsninger og tilpasningsdyktige planløsninger og konstruksjonssystemer er ikke tatt med her. Den potensielle gevinsten for disse vil være meget stor, men likevel for vilkårlig til å inngå i en kvantitativ vurdering.

For å kunne vurdere betydningen av de aktuelle tiltakene kan vi ta utgangspunkt i en bygning som representerer et samlet CO₂ utslipp på ca. 1250 kg CO₂/m² over 50 år. Vi snakker da om et lavenergi- eller passivhus der klimabelastningene fordeler seg ca. 50-50 mellom materialer og drift. Det vil kunne være betydelige reduksjoner å hente inn på dette. Men vær oppmerksom på at flere av tiltakene ikke umiddelbart kan kombineres. Betydningen av flere av enkelt-tiltakene vil også være vanskelige å dokumentere med dagens erfaringer og kunnskapsnivå. Oppsettet må således i høyden betraktes som en skjønnessig indikasjon.

Og karbonlagring i trevirke er satt i parentes. Denne posten kan vise seg å bli betydelig, men vi bør nok vente med å konkludere til politikerne våre har vist tilstrekkelig handlekraft i klimaspørsmålet. Og der er vi så absolutt ikke enda.

Betydning av klimatiltak i lavenergi-hus		
Samlede klimagassutslipp over 50 år til materialer og drift er 1250 kg CO ₂ / m ² = 100 %		
Materialiltak	Max. reduksjon	Referanse
Klimaeffektive materialer	20%	Thormark 2007; Nemry 2001; Pingoud 2003; Goverse 2001
Redusert materialsvinn/materialforbruk	10 % ?	sk.
Vedlikeholdseffektive konstruksjoner	10 % ?	sk.
Gjenvinnings- og ombruksløsninger	20%	Modahl 2003; Berge 1996
Temperatur-regulerende materialer, redusert oppvarmings- og kjølebehov	10 %	Gielen 1997; Kleiven 2009
Temp- og fuktregulerende materialer, redusert ventilasjonsbehov	10 %	Simonson 2000; 2005
Robuste energiløsninger	10 %?	sk.
Grønne tak	5 %	Getter 2009; Gielen 2000
Karbonlagring i trevirke BKL 2	[40 %]	Berge 2004; Pingoud 2003
Betong med reagerte magnesiumsilikater	30 %	Schulling 2006

Figur 44

Referanser

Akbari HS (2008) *Global cooling: increasing solar reflectance of urban areas to offset CO2 art.* i *Climatic Change*

Berge B (1996) *Byggesystem for Ombruk Gaia Lista*

Berge B (2003) *Arealforbrukets miljøbelastning i boliger. Opsjoner for arealeffektivisering* Statens Bygningstekniske Etat mai 2003

Berge B (2004) *Aktiv substitusjonseffekt ved økt treforbruk i nybygg* NAL NABU

Berge B (2005) *Granitt eller betong? En miljøvurdering med vekt på klimabelastning.* Gaia Lista

Berge B (2009) *The Ecology of Building Materials. 2nd edition* Architectural Press/Elsevier Oxford 2009

Bøhlerengen T (2002) *Taping av plastfolie er ikke godt nok* Byggmesteren 11/12

Cabeza C et al (2007) *Use of microencapsulated PCM in concrete walls for energy savings* Energy and Building 39

Crump D et al (2009) *Indoor air in highly energy efficient homes – a review* NHBC BRE 2009

Flugsrud K et al *Estimating the net emission of CO2 from harvested wood products. A comparison between different approaches* SFT Report 1831/2001

Follerås K (2007) *Økt isolasjonstykkelse kan gi økt risiko for fukt* Byggaktuelt

Fossdal S (2006) *Miljødeklarasjon av kalkmørtel og ulesket kalk fra Franzefoss Kalk AS* Byggforsk

Getter KL et al (2009) *Carbon Sequestration Potential of Extensive Green Roofs Environ. Sci. Technol.* 2009, 43

Gielen DJ (1997) *Building Materials and CO2. Western European Emission Strategies* ECN-C-97-065

Gielen DJ (2000) *Biomass for greenhouse Gas Emission Reduction* ECN-C-00-001

Goverse T et al (2001) *Wood Innovation in the Residential Sector: Opportunities and Constraints* Resources, conservatyion and Recycling 34:2001

Grøntoft T (2009) *Klimaendringer tærer på bygninger* Klima 6-2009

Hasenöhrl T (2009) *An Introduction to Phase Change Materials as Heat Storage Mediums* Dep. Of Energy Sciences, Lund University

Hauer A et al (2005) *International Energy Agency implementing Agreement on Energy Conservation through Energy Storage* Annex 17 final report

Kleiven T (2009) *Termisk masse. Tunge byggematerialer kan redusere energibehov til kjøling* Mur+Betong 1:2009

Kram T (2001) *The Matter Project: Integrated Energy and Materials Systems for GHG Emission Mitigation* ECN

Marsh R et al (2006) *Bolig Miljø Kvalitet* SBI 2006:15

Modahl IS et al (2003) *Evaluering av miljø- og ressursforhold ved bygging av gjenbrukshus i Trondheim* Stiftelsen Østfoldforskning. Oppdragsrapport 2003:14

Monsen B et al (2009) *Tiltak og virkemidler for reduksjon av klimagasser i norsk prosessindustri* SINTEF A11606

Nordby AS (2009) *Salvageability of building materials* Doctoral theses at NTNU, 2009:87

Rode C et al (2005) *Moisture Buffering of Building Materials* Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark R-126

Schuiling RD et al (2006) *Enhanced Weathering: An Effective and Cheap Tool to Sequester CO₂* *Climate Change* 74 2006

Simonson CJ (2000) *Moisture, Thermal and Ventilation Performance of Tapanila Ecological House* VTT Building Technology, Espoo

Simonson CJ et al (2005) *Moisture Performance of an Airtight, Vapour-permeable Building Envelope in a cold Climate* *Journal of Thermal Envelope and building Science* 28

Thormark C (2007) *Energy an Resources, material Choice and Recycling Potential in Low Energy buildings* Sustainable Technology, Lisbon

Valbjørn O et al (2001) *Bygningskonstruktioners risiko for fugtskader. Erfaring fra praksis* *Byg og By Resultater* 012, SBI

Partnere i FutureBuilt:



FutureBuilt er en del av:

FRAMTIDENS BYER

www.futurebuilt.no