



BETONG FOR ENERGIEFFEKTIVE BYGNINGER

– fordelene ved termisk masse

Publikasjonen er en vesentlig omarbeiding og oversettelse av "Concrete for energy efficient Buildings – The benefits of thermal mass", som er produsert av The European Concrete Platform ASBL, Brussel. Oversettelsen og omarbeidingen er gjennomført av Betongelementforeningen (BEF) www.betongelement.no.

Publikasjonen er av informativ art, og er ment for å illustrere hvordan man ved bruk av tunge byggematerialer kan bidra til å redusere de totale utslippene av klimagasser ved drift av bygg. Vurderinger som kommer til uttrykk i dette dokumentet er forfatterens egne, råd og informasjon i denne publikasjonen er av informativ karakter og gir ikke et fullstendig og selvstendig teoretisk grunnlag for planlegging og design av bygg.

Forsiden: Nytt tilbygg til National History Museum i London, the Darwin Centre. Arkitekt: C. F. Møller Architects. Foto: Torben Eskerod.

Produsert med støtte fra Byggutengrensner.no, Norsk Fabrikkbetongforening – FABEKO og Norsk Betongforening.

Oversettelse og design, norsk versjon: www.mooo.no/SB Grafisk Trykk: Merkur-Trykk, Oslo, 2009



Alle har opplevd hvordan svaberget fremdeles er varmt lenge etter at solen har gått ned. Mur og betong har de samme egenskapene som svaberget. Og bygger du riktig, får du et hus som magasinerer varme om dagen og avgir den utover natten. I byggeterminologi kalles fenomenet varmelagringsevne. Man utnytter de tunge byggematerialenes termiske egenskaper og reduserer energibruken til oppvarming (og avkjøling) betydelig.

De nye byggeforskriftene angir maksimumskrav til energiforbruk for alle nybygg. Det er kun i mur- og betongbygg varmelagringsevnen kan utnyttes effektivt. Ingen andre byggematerialer kan på samme måte bidra til å senke energibruken gjennom hele byggets levetid. Og spart energi er spart miljøbelastning.



**Som å ligge på et solvarmt
svaberg hele natten.
Ta vare på varmen.
Bygg i mur og betong.**

BETONG FOR ENERGIEFFEKTIVE BYGNINGER

– fordelene ved termisk masse

INNHold

1. BETONG SOM BYGGEMATERIALE	side 5	3. BETONG OG ENERGIBRUK I BYGG	side 13
Bygningsenergidirektivet (EPBD) og nasjonale forskrifter		Utnytt betongens evne til å lagre varme	
Hvordan kan betong bidra til å oppfylle kravene i teknisk forskrift (TEK) til plan og bygningsloven?		Utnytt den termiske massen optimalt	
Betongens varmemagasinerende effekt		Studier på effekten av termisk masse	
Den varmemagasinerende effekten i betong bidrar til reduksjon i utslipp av klimagassen CO2		Beregning av bygningers energibehov	
		Termisk masse om sommeren/vinteren	
2. ENERGIBRUK TIL DRIFT AV BYGG	side 9	4. ET EKSEMPEL PÅ BETONGENS ENERGIEFFEKTIVITET	side 18
Varmeoverføring i bygg		Referanser	side 19
Energi til kjøling og oppvarming			



De bordforskalte betongoverflatene i Vardåsen kirke i Asker skaper en rolig atmosfære i kirkerommet. Arkitekt: Østgaard Arkitekter as. Foto: byggutengrenser.no

1

BETONG SOM BYGGEMATERIALE

Betong er et tradisjonelt, forutsigbart og utprøvd byggemateriale som brukes i de fleste bygg i bæresystem, gulv og dekker, innvendige vegger og fasader. Betong er et svært formbart materiale i tillegg til at det er robust og sterkt, i miljøsammenheng er likevel den aller største fordel materialets varmemagasinerende evne. Betongens termiske masse gjør at den kan brukes som et varmebatteri som lades opp og avgir varmen eller kulden igjen over tid.

Bygningsenergidirektivet (EPBD) og nasjonale forskrifter

Gode bygningstekniske løsninger i betong kan bidra signifikant til å tilfredsstille de nasjonale kravene som er satt på bakgrunn av Bygningsenergidirektivet* som trådte i kraft i 2006. Direktivet får stor betydning for hvordan bygg utformes og hvilke konstruktive løsninger som velges når EU og EØS landene implementerer direktivet direkte, eller ved å endre eksisterende byggeforskrifter (plan og bygningsloven) slik vi har gjort i Norge

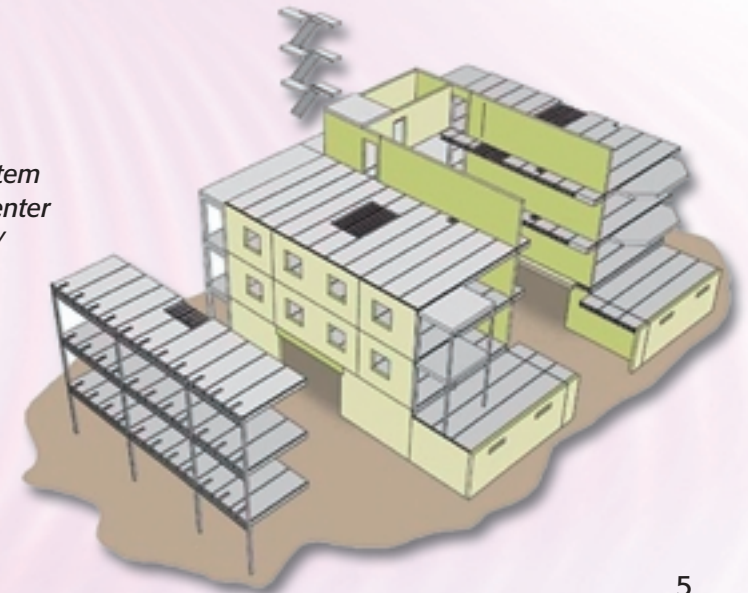
Bygningsenergidirektivet tar altså et helhetlig grep rundt energibruk i bygg. De som bestiller, designer, prosjekterer og fører opp bygg må følgelig ha høy kompetanse og et bevisst forhold til følgene av materialvalg, valg av tekniske løsninger, utforming og hvilke konsekvenser disse valgene får for energibruken i byggets driftsfase.

*The Energy Performance of Buildings Directive - Direktiv 2002/91/EC, 16. Desember 2002 – EPBD.

Bygningsenergidirektivet

- Er et rammeverk for nasjonale krav i forhold til et byggs energibehov. I Norge gis de nasjonale kravene i Teknisk forskrift til Plan og bygningsloven (TEK).
- Er et rammeverk for dokumentasjon (energimerking) av et byggs energibehov. Dette gjennomføres i Norge som en endring av energiloven slik at yrkesbygninger og offentlige bygninger over 1000 kvadratmeter skal ha en energiattest. Boliger skal ha energiattest ved salg eller utleie. Se mer om dette på www.bygningsenergidirektivet.no.
- Fastsetter at det positive bidraget fra passiv oppvarming og kjøling skal tas med i beregning av bygningers energiytelse.
- Fastsetter at energieffektive bygg ikke skal påvirke inneklimaet negativt.

Figuren viser byggesystem basert på betongelementer med bærende fasader/skillevegger eller bæresystem i stål.



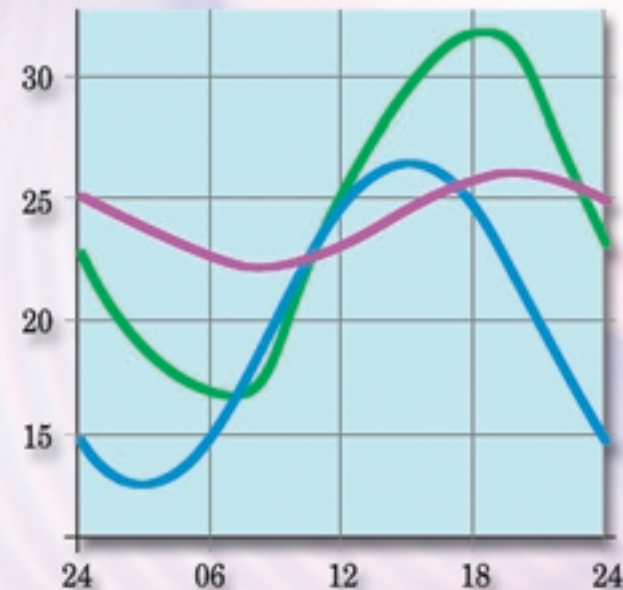
Hvordan kan betong bidra til å oppfylle kravene i teknisk forskrift (TEK) til plan og bygningsloven?

Forskning på bygningers energibehov viser at man kan utnytte betongens varmemagasinerende evne under alle klimatiske forhold. Dersom man tar hensyn til potensialet i de tunge byggematerialenes varmelagringssevne og termiske treghet kan man oppnå inntil 15 % redusert energibehov til oppvarming og kjøling. På tider av døgnet med høy aktivitet i bygget kan over-skuddsvarme fra personer, lys og teknisk utstyr lagres i betongen og frigis når temperaturen i rommet synker. God styring av oppvarming, ventilasjon, solavskjerming og nattkjøling er avgjørende for at effekten av betongens termiske egenskaper skal redusere energibehovet. Energibruken til drift av norske bygninger er på omlag 82 TWh i et normalår. Dette tilsvarer 38 % av Norges totale landbaserte energibruk. Byggsektoren har altså et enormt potensial og ansvar for å redusere sin bruk av energi framover.

Betongens varmemagasinerende effekt

- Utnytter passiv solvarme (ved magasinering av varmeenergien) og reduserer dermed behovet for oppvarming i den kalde delen av døgnet.
- Reduserer behovet for energi til oppvarming med inntil 15 % og kjøling med inntil 25 %. (Wærp 2007).
- Jevner ut temperaturvariasjonene i bygget gjennom døgnet.
- Kan benyttes sammen med ventilasjon om natten for å unngå behov for kjøling om dagen.
- Kan bidra til at lavtemperaturvarme og kjølekilder som berg- og jordvarmepumper utnyttes mer optimalt.
- Redusert energibruk til kjøling og oppvarming vil redusere utslipp av CO₂.

I siste revisjon av Teknisk forskrift til Plan og bygningsloven (TEK) fokuserer man på tiltak for å begrense energibruk til kjøling i tillegg til de tiltakene man har videreført fra tidligere TEK (før 2007). Energiltaksmodellen i ny TEK tillater ikke bruk av lokal mekanisk kjøling. Bakgrunnen for dette kravet er det høye og stadig økende bruk av energi til kjøling (særlig) av kontorbygg med lokal mekanisk kjøling. Undersøkelser viser at total energibruk kan være 6–27 % høyere enn i kontorbygg uten mekanisk kjøling. Denne store andelen kan ikke forklares med kjølebehovet alene. Grunnen til dette kan være at dersom man har kjøling, så brukes det – uavhengig om det virkelig er behov for det eller ikke. Brukerne av bygg med installert kjøling forventer at det skal være 22 grader i bygget uansett årstid og ute-temperatur.



Simuleringsresultater av temperaturforløp for utetemperatur (blå), romluftstemperatur for standard lett konstruksjon (grønn) og romluftstemperatur for tung konstruksjon med eksponert termisk masse (rødt) over et tidsintervall på 24 timer gjort av SINTEF. Enheten langs y-aksen er grader Celsius [°C], og enheten langs x-aksen er tid (Algaard 2008).

Den varmemagasinerende effekten i betong bidrar til reduksjon i utslipp av klimagassen CO2

Figuren til venstre viser hvordan redusert energibruk til kjøling og oppvarming gir en betydelig reduksjon i CO₂-utslipp. Mellomtunge konstruksjoner i betong eller tegl, forutsatt at den tunge massen er eksponert og utnyttes riktig, kan kompensere for utslippet av CO₂ fra byggematerialenes produksjonsfase i løpet av de første 11 årene av byggets levetid. Videre i byggets levetid (50–100 år) øker gevinsten fra det lavere energiforbruket (Hacker m.fl. 2006).

Vi ser at romlufttemperaturen i den lette konstruksjonen svinger mellom 17 °C og 32 °C mens romlufttemperaturen bare svinger mellom 22 °C og 26 °C i den tunge konstruksjonen. Utetemperaturen svinger i det samme tidsintervall mellom 13 °C og 27 °C. Både oppvarmings- og kjølebehovet er følgelig lavest for den tunge konstruksjonen. Tunge materialers evne til

å magasinere varme og dens termiske treghet gjør at man kan redusere behovet for energi til oppvarming og kjøling. Dette innebærer samtidig at man reduserer energikostnadene betydelig. Det er svært sannsynlig at prisen på energi vil øke i fremtiden siden energi vil forbli en knapp ressurs i all overskuelig framtid.

Konsekvensene av valg tatt i planleggings-, prosjekterings- og byggefasen vil følgelig ha stor innflytelse på driftskostnadene for bygg i fremtiden. I tillegg vil den stabile temperaturen i betong- og murbygg gi mer komfortable hjem og arbeidsplasser. Et stabilt termisk inneklima er en av de viktigste enkeltfaktorene som bidrar til trivsel og produktivitet. Disse faktorene bidrar til å gjøre bygget mer attraktivt, og øker dens verdi ved utleie og videresalg.



Imperial War Museum Duxford (England), arkitekt Norman Foster. Bygget er oppført som en skallkonstruksjon med maksimalt spenn på 90 meter i fasade, 100 meter i dybden og med en maksimal høyde på 18 meter. Museets eneste inntektskilde er billettinntekter, derfor måtte bygget ha lave driftskostnader for å kunne realiseres. De store glassflatene slipper inn mye lys og unødiggjør

kunstig belysning i åpningstiden. Den doble skallkonstruksjonen med to lag betongelementer i fasaden sørger for et svalt og behagelig inneklima (temperatur, fuktighet m.v). Komparative analyser viser at den termiske massen i bygget sørger for at bygget har 2–5 grader lavere temperatur enn maksimal utetemperatur på varme dager, dermed er ikke mekanisk kjøling nødvendig.



Villa Bakke har eksponerte, ubehandlede innvendige vegger i lys betong og et slipt og polert betonggulv. Arkitekt: Mmw arkitekter as. Foto: Erik Førde

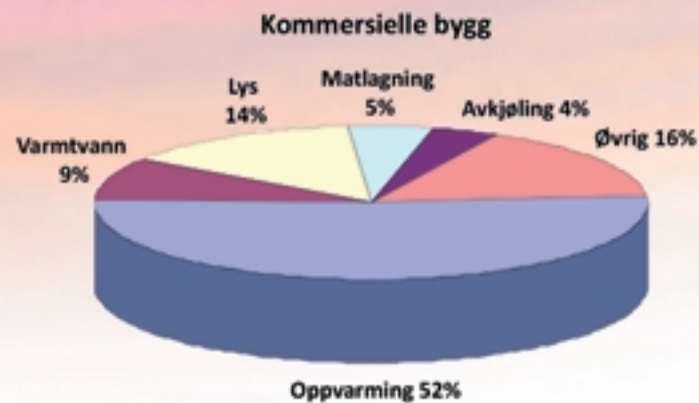
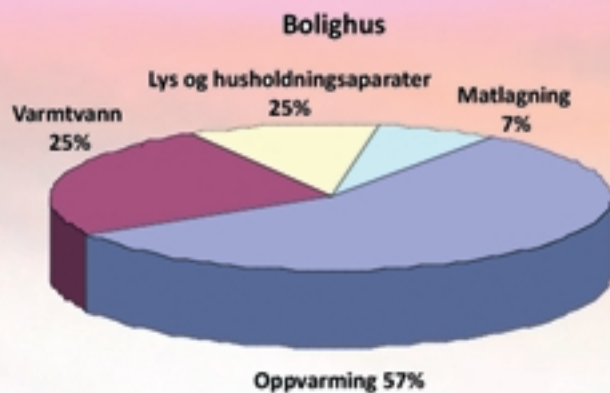
2

ENERGIBRUK TIL DRIFT AV BYGG

Energi til drift av bygninger står for ca 40 % av den totale energibruken i samfunnet. Dette medfører at opphold i og bruk av bygg er samfunnets største kilde til klimagassutslipp. Figuren viser andelen av energi brukt til forskjellige formål i både boliger og kommersielle bygg. Etter at EU satte som mål å redusere utslippene av drivhusgasser til 1990-nivå innen 2010 måtte man tilrettelegge for tiltak som kunne bidra til å nå målet. Bygningsenergidirektivet er ett av tiltakene for å nå målet om reduserte klimagassutslipp fra drift av bygg.



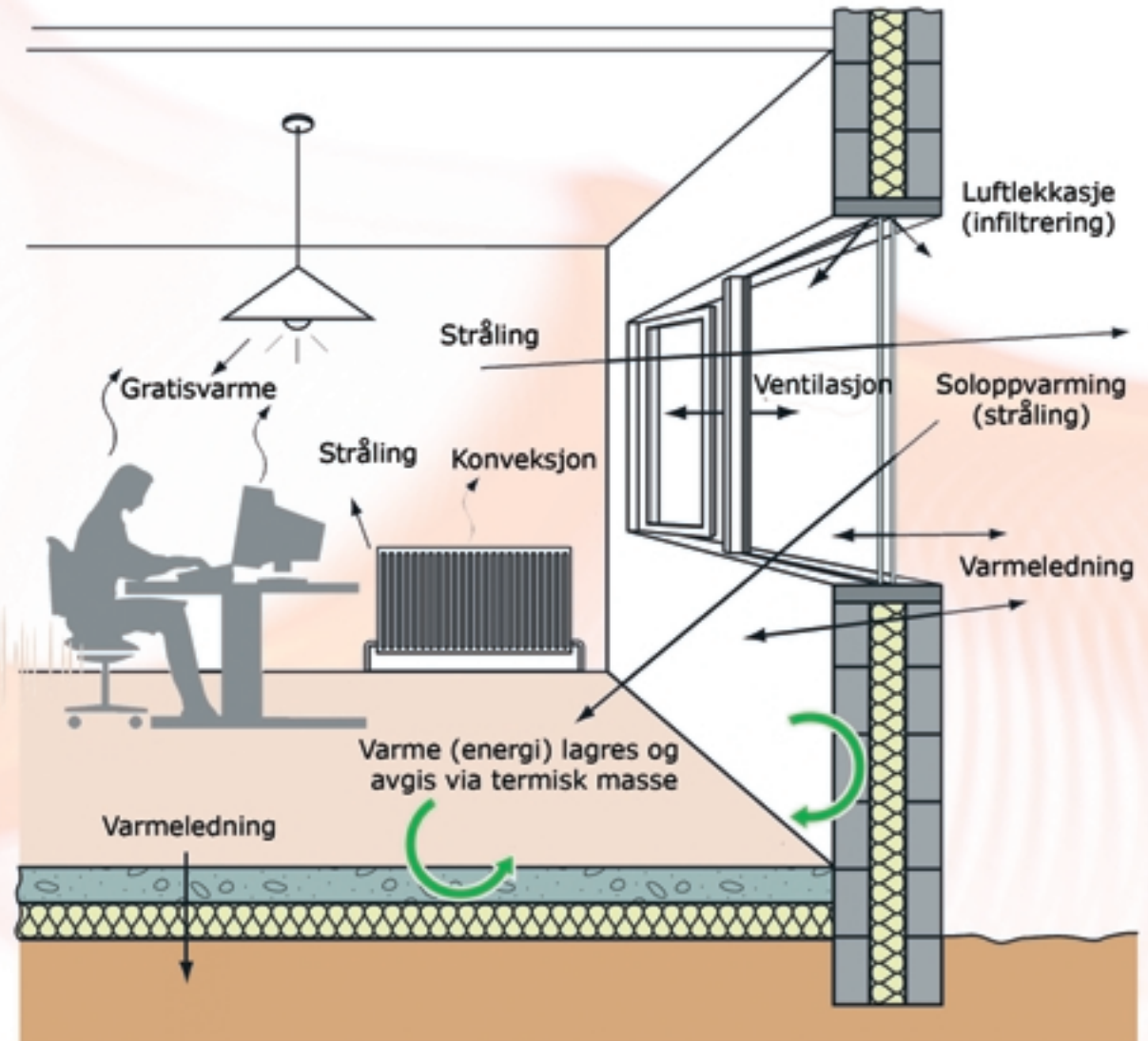
*København
Business School
Kilen*



Varmeoverføring i bygg

Varmeoverføringsmekanismene i et bygg vises i figuren til høyre. Om en har et bevisst forhold til disse mekanismene, kan det bidra til å redusere energibehovet. Varmeoverføringsmekanismene kan grovt deles i transmisjon (varmeledning gjennom bygningskroppen), infiltrasjon (ukontrollert luftlekkasjer gjennom bygningskroppen) og stråling (langbølget strålingstap mot omgivelsene fra bygningskroppen og solinnstråling gjennom vinduer). Transmisjonen er avhengig av varmeledningsevnen til bygningsmaterialene, mens infiltrasjonen avhenger av tettheten til bygningskroppen.

Teknisk forskrift (TEK) stiller derfor minimumskrav til isolasjon og tetthet. Stråling påvirker hovedsakelig bygget gjennom glassflatene. Effekten av innstråling av dagslys og langbølget avstråling bestemmes av glassegenskapene. Glassegenskapene kan påvirkes med bruk av ulike belegg for å hindre uønsket solinnstråling (for å redusere kjølebehovet), og reduksjon av langbølget strålingstap mot omgivelsene (for å redusere oppvarmingsbehovet). I tillegg brukes også solavskjerming for å begrense både solinnstråling og i noen tilfeller også for å redusere avstråling om natten.



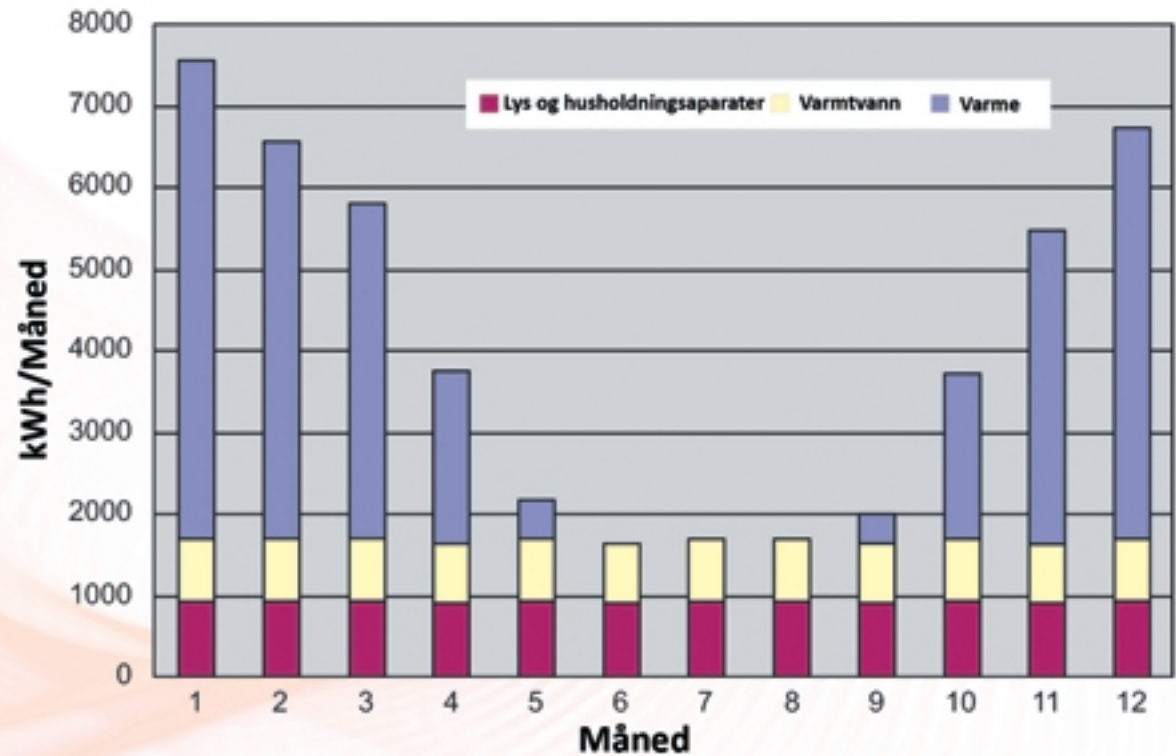
Energi til kjøling og oppvarming

For å skape energieffektive og termisk komfortable rom for arbeid og opphold må det tas utgangspunkt i energibalansen i bygget. Byggematerialenes varmelagrende egenskaper og termiske treghet må være med i beregningene. Energiforbruken i et bygg kan beregnes med enkle håndberegninger basert på statistiske stedsbestemte klimadata, termisk isolasjon og forventet ventilasjonsgrad. Mer avanserte beregninger ved hjelp av dataprogrammer som simulerer energistrømmene dynamisk er imidlertid å foretrekke. Kompleksiteten i bygg gjør at dataprogrammer i økende grad benyttes for å simulere dette.

Oppvarmings- og kjølebehovet i bygg vil variere gjennom dagen, året og fra sted til sted avhengig av indre og ytre klimatiske forhold. Den varmelagrende effekten i byggematerialene kan utnyttes gjennom naturlig ventilasjon eller aktivt som for eksempel ved å lede vann eller luft gjennom spiraler eller ledninger i de tunge bygningsdelene som for eksempel i betongdekkene.

To forhold er sentrale når man projeksjonerer nye bygg:

1. Sikre et godt og behagelig inneklima for byggets brukere.
2. Redusere energibehovene i størst mulig grad uten at det går på bekostning av inneklima.



Figuren viser energibruk i bygninger gjennom året.



Gyldendalhuset med presise og organiske former, der betong spiller sammen med andre materialer på en harmonisk måte. Arkitekt: Sverre Fehn. Foto: Byggutengrens.no

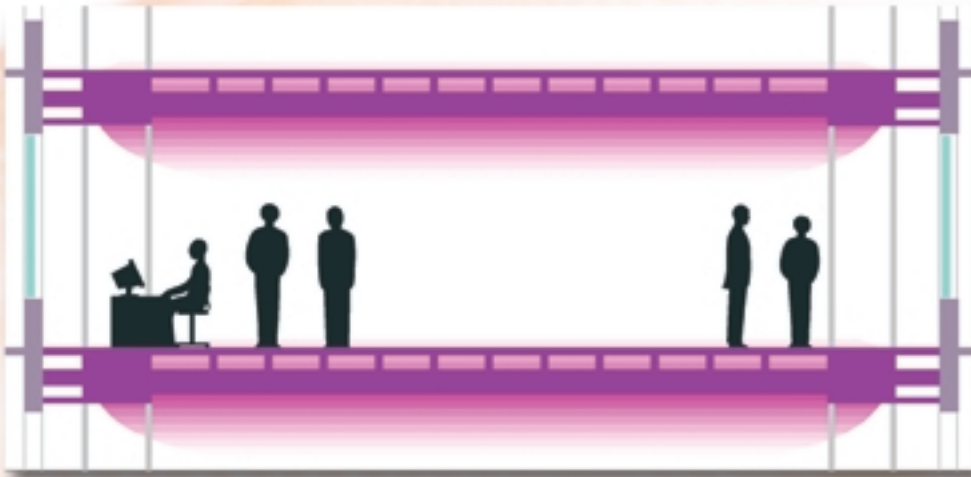
3

BETONG OG ENERGIBRUK I BYGG

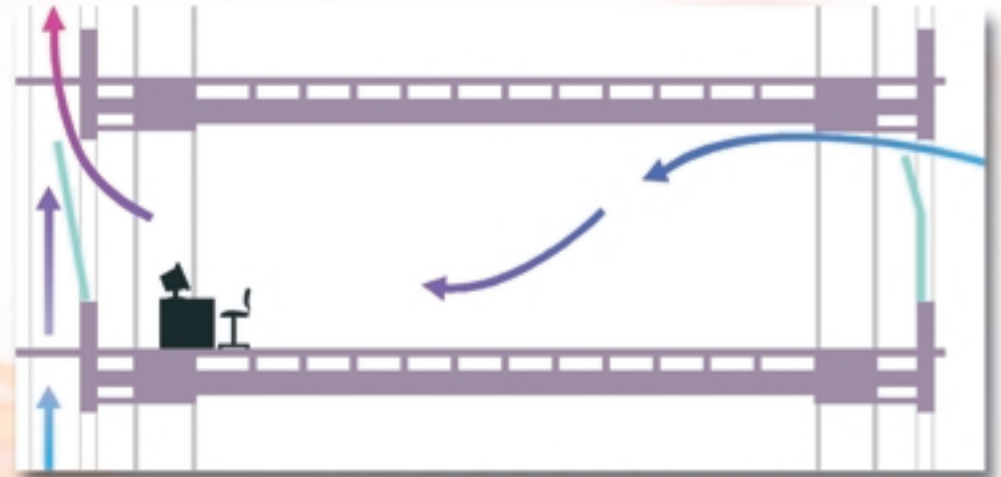
Utnytt betongens evne til å lagre varme

Betongens varmelagrende evne fungerer best i bygg hvor det er en syklus med temperaturforandringer gjennom døgnet. I skoler og i kontorbygg, der byggenes bruk sammenfaller med høye utetemperaturer og solbelastning, hjelper betongens termiske treghet og varmelagringsevne til med å redusere temperaturoppene og utsette kjølebehovet i byggene. Ved å utsette kjølebehovet til kvelden kan en utnytte den svale uteluften til

å kjøle ned bygget for å klargjøre det til en ny varm dag. Innervegger som gips og tepper svekker signifikant effekten av termisk masse siden slike materialer fungerer som isolerende lag mot betongen. Dersom den termiske massen i bygg skal utnyttet, bør isolasjonen i yttervegg plasseres utenfor det indre betonglaget. I gulv, på grunnplan, bør isolasjonen ligge under betongdekket.



Snittegning gjennom hovedkontoret til GSW i Berlin, der eksponert betong i himlingen akkumulerer overskuddsvarme på dagtid (venstre). Overskuddsvarmen ventileres bort nattestid ved naturlig kryssventilasjon (høyre).



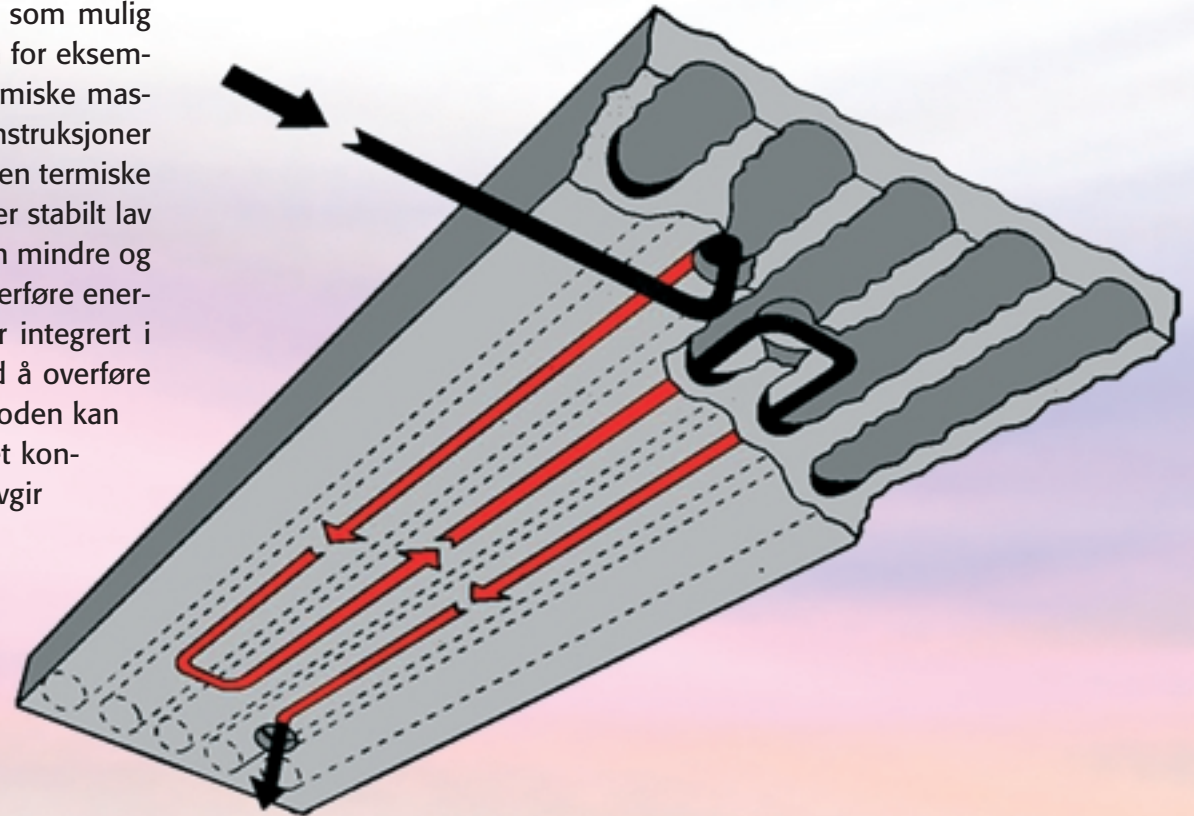
Betonghimlingen er klar til å absorbere overskuddsvarme igjen påfølgende dag. Kilde: Sauerbruch Hutton Architects (2000) GSW Headquarters, Berlin, Lars Müller Publishers. (Algaard, 2008).

Utnytt den termiske massen optimalt

Hovedregelen er at betongoverflaten bør eksponeres så mye som mulig og kun dekket med farge, puss eller relativt harde belegg som for eksempel keramiske fliser. En enkel tommelfingerregel er at den termiske massen må være synlig for at den skal være effektiv. I enkelte konstruksjoner isoleres betongveggene på innsiden, likevel kan man utnytte den termiske massen i betonggulv og tak. Under forhold der temperaturen er stabilt lav eller høy i lengre perioder blir effekten av den termiske massen mindre og aktiv oppvarming kan bli nødvendig. I slike tilfeller kan man overføre energi til oppvarming eller kjøling via vann eller luft i rør som er integrert i betongen. Betongens høye varmeledningsevne hjelper til med å overføre varmeenergien fra luften eller vannet ut i rommet. Denne metoden kan og brukes for å transportere overskuddsvarme bort fra f.eks. et kontor med mange datamaskiner og elektriske apparater som avgir mye varme til omgivelsene.



En såkalt sandwich-vegg, med ett relativt tykt indre lag av betong og med et isolerende lag i midten som skiller den ytre fasaden fra resten av konstruksjonen. Den indre delen av konstruksjonen kan samvirke med rommet innenfor og fungere som et varmebatteri.



Termodecksystemet: I dette konseptet leder mekanisk ventilasjon luft i lav hastighet gjennom kanaler i betong i et spiralmønster. Dette sørger for en kontakt mellom luften og betongen over lang tid så varmeoverføringen blir god. (Illustrasjon fra Termodeck® i Sverige).

Studier på effekten av termisk masse

En gruppe fra Universitetet i Tampere i Finland (Hietmäki m.fl. 2003) gjennomførte en studie av 28 internasjonale publikasjoner som gikk på temaet termiske egenskaper. Studien konkluderte blant annet med at:

- Termisk masse kan redusere oppvarmingsbehovet med inntil 15 %, med en gjennomsnittlig besparing på 10 % i Nord-Europa, sammenlignet med tilsvarende bygg i lette materialer. Det reduserte oppvarmingsbehovet kan variere sterkt avhengig av bygningskategori.
- Dersom man ikke benytter mekanisk kjøling på sommeren, er effekten av tunge byggematerialers varmelagrende egenskaper best. Under ellers like forhold har man funnet at den høyeste inne-temperaturen i et tungt bygg er 3–6 grader lavere enn i tilsvarende bygg i lette materialer.
- Nattventilering kombinert med termisk masse i kontorbygg kan redusere eller eliminere bruken av mekanisk kjøling. Reduksjon av kjølebehovet opp mot 50 % er ikke urealistisk.
- Avhengig av lokale klimatiske forhold, kan kombinasjonen av høy termisk masse og god isolasjon i en enebolig redusere energibehovet med opp mot 20 % sammenlignet med tilsvarende hus i lette materialer.

En norsk studie tok for seg energieffektiviteten om sommeren i et familiehus med nattventilasjon og et kontorbygg med nattventilasjon eller aktiv kjøling med ulike driftsbetingelser (Dokka T H, 2005). Simuleringen var basert på klimadata fra Oslo og ble utført i et program for dynamiske energiberegninger. Resultatene viste at det tunge familiehuset hadde 7 % lavere oppvarmingsbehov sammenlignet med det tilsvarende bygget i lette materialer og at den termiske massen samtidig bedret det termiske inn klimaet. Kontorbygget hadde et oppvarmingsbehov som var ca. 10 % la-


vere enn det lette kontoret, og i tillegg hadde det lette alternativet behov for 30 % mer energi til kjøling enn det tunge. Det lette kontoret uten mekanisk kjøling hadde for høye inne-temperaturen i 179 timer av arbeidstiden, noe som overskrider myndighetenes maksimum betydelig (50 timer).



Interiørbilde fra Villa Bakke med eksponerte, ubehandlede vegger i lys betong. Foto: Espen Grønli.

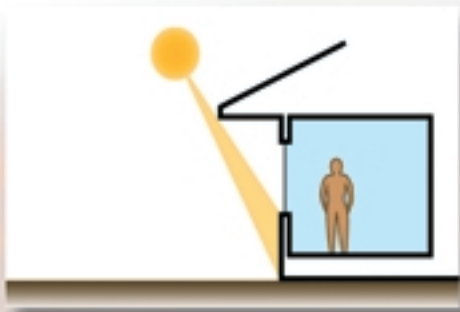
Beregning av bygningers energibehov

Både forenklete stasjonære metoder eller mer detaljerte dynamiske beregningsmetoder kan brukes for å beregne bygningers energibehov. Hvilken metode som er best egnet avhenger bl.a. av bygningskompleksiteten og hvor langt man har kommet i designprosessen. Typisk vil en stasjonær metode være god nok i enklere bygg som for eksempel boliger, mens for mer komplekse bygg som kontorbygg bør en dynamisk metode brukes. Dynamiske beregningsmetoder har også ulike detaljeringsnivåer, men har til felles at de modellerer de faktiske termodynamiske prosessene i et rom eller et bygg og beregner energibalansen og resulterende temperaturer fra time til time, eller minutt til minutt. Den stasjonære metoden er en enklere tilnærming og er passende i en tidlig fase under prosjektering. Den forenklete metoden kan være et nyttig verktøy når man skal ta strategiske avgjørelser med tanke på byggets geometri og valg av byggematerialer. Modellen tar hensyn til effekten fra de tunge byggematerialene ved å estimere utnyttingsgraden av gratisvarme (fra solstråling og brukere av bygget) i forhold til behovet for oppvarming. Den forenklete metoden kan treffe brukbart på bygningers energibehov, men er uegnet for å beregne resulterende termisk inn klima.

Energy certificate	Building Energy Performance		As built	In use
	Space to make reference to the certification scheme used		Asset rating	Operational rating
	Very energy efficient  Not energy efficient		C	D
	Name of the indicator used	unit	calculated	measured
			130	170
Space to include additional information on building energy use				
Administrative information: address of the building, conditioned area date of validity certifier name and signature...				

Et eksempel på hvordan et sertifikat for energieffektivitet i bygg kan se ut (med tillatelse fra www.eplabel.org).

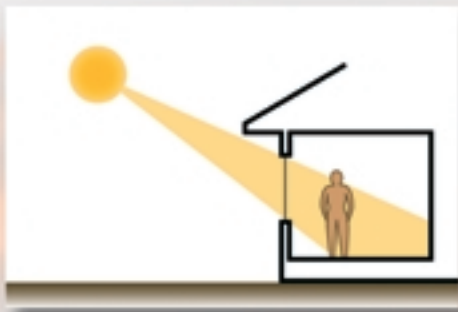
Termisk masse om sommeren



Dagtid:

På varme dager holdes vinduene lukket for å holde den varme luften ute, og solskjerming bør tilpasses for å minimere soloppvarming. Kjølningen skjer gjennom termisk masse.

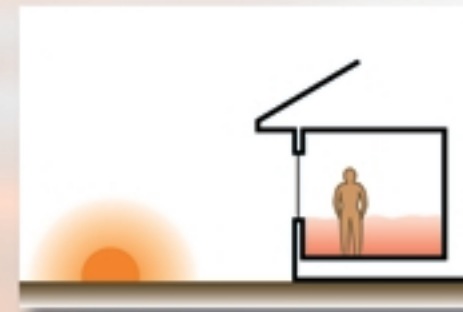
Om temperaturene ikke er for ekstreme, kan vinduene åpnes for ventilering.



10.00–17.00:

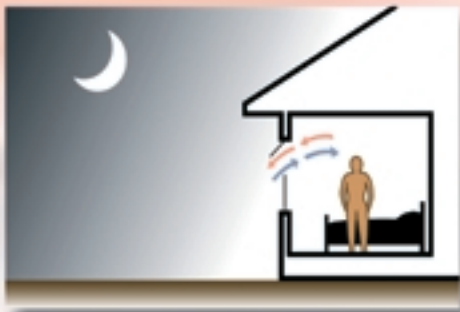
Solskinn kommer gjennom sydvedte vinduer og treffer den termiske massen. Dette varmer opp luften og den termiske massen.

På de fleste dager med sol kan solvarme hjelpe til med å opprettholde komfort fra formiddagen til sent på ettermiddagen.



17.00–23.00

Etter at solen har gått ned er en god del varme blitt tatt opp av den termiske massen. Dette frigjøres sakte og er med på å gi komfortable forhold om kvelden.



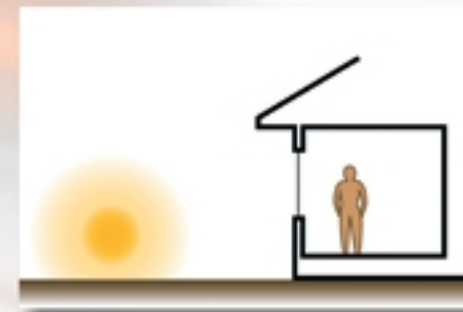
Nattetid:

Om det har vært en varm dag, åpnes vinduene for å kjøle ned den termiske massen.



23.00–07.00:

Beboerne tilpasser oppvarmingen så kun minimal tilleggsoppvarming er nødvendig. God lufttetthet og isolering minimerer varmetap.



07.00–10.00

Dette er den vanskeligste tiden for passiv soloppvarming. Den termiske massen har som regel frigitt det meste av sin varme og beboerne må benytte tilleggsoppvarming, men god lufttetthet vil hjelpe til med å minske dette behovet.

4

ET EKSEMPEL PÅ BETONGENS ENERGIEFFEKTIVITET

Det har blitt gjennomført tester der målet var å undersøke om betong kan gi et stabilt termisk inneklima samtidig som man reduserer behovet for energi til oppvarming og kjøling (Johannesson G, Lieblang P, og Öberg M 2006). Energiflyten i boliger og kontorbygg ble studert under ulike klimatiske forhold (fra Sverige til Portugal). Et enkelt toetasjes hus som kunne brukes som bolig eller kontorbygg ble modellert. Det ble sett på to ulike kombinasjoner; Et tungt alternativet med gulv, innvendige vegger og yttervegger i betong og et lett alternativ med betong i gulv og med tre eller stål i bærende konstruksjoner og vegger. Varmeisolasjonen var lik i de to modellene.

Fem dataprogrammer fra Danmark, Tyskland og Sverige ble benyttet i testene. Tre av programmene tok utgangspunkt i den forenklete likevektsmetoden, et program brukte den dynamiske metoden og et program brukte en kombinasjon av begge. Resultatet av disse testene viste at et bolighus i tunge materialer med nøytral vindusretning hadde 2–9 % lavere energibehov sammenlignet med det tilsvarende lette alternativet.

Effekten av den termiske massen i det tunge bygget økte dersom flere vinduer var vendt mot sør. Figuren under viser at et tungt bygg med sørvendte vinduer har et lavere kjølebehov enn ett lett bygg hvor vinduene er nøytralt plassert. Den varmemagasinerende effekten var tydeligere for et kontorbygg i tunge materialer (7–15 % sammenlignet med det tilsvarende lette alternativet). Kontorbygget hadde mekanisk kjøling (pga. den store varmemengden fra datamaskiner og mennesker), men kunne i det tunge alternativet utnytte den termiske massen og redusere behovet for mekanisk kjøling.

Som nevnt er det er i utgangspunktet vanskelig å kvantifisere den opplevde komforten med forenklete stasjonære metoder, men ved å bruke det reduserte behovet for energi til kjøling som en indikator, fikk det tunge alternativet 10–20 % bedre resultat enn det lette. Dersom effekten av betongens varmelagrende egenskaper og termiske treghet hadde blitt vurdert sammen med optimale ventilasjonsløsninger og brukernes forventninger til innetemperatur i design/prosjekteringsfasen kunne man sannsynligvis redusert energibehovet ytterligere.



Modellhuset som ble studert kunne brukes som bolig eller kontor, man studerte ett alternativ som tung konstruksjon og ett utført i lette materialer.

REFERANSER

ALGARD, ERIK. HØSØIEN, CLAS O 2008. *Betongelementboka bind E Isolasjon*. Betongelementforeningen, Oslo, Norge

ARUP, 2004. *Too hot to handle*. Building, No. 6, 2004, London, UK.

ARUP/BILL DUNSTER ARCHITECTS, 2004. *UK Housing and Climate Change – Heavyweight versus lightweight construction*, Arup Research & Development, Bill Dunster Architects, UK.

CIBSE – Chartered Institute of Building Services Engineers, 2005. *Climate change and the Indoor environment: Impacts and adaptation*, TM36, CIBSE, Ascot, UK.

DE SAULLES T, 2005. *Thermal mass – a concrete solution for a changing climate*. The Concrete Centre, Camberley, UK, 25 pp.

DOKKA T H, 2005. *Varmelagringseffekt ved bruk av tunge materialer i bygninger*. SINTEF report STF 50 A05045, Trondheim, Norge.

EC (2003). *DIRECTIVE 2002/91/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 December 2002 on the energy performance of buildings*. Official Journal of the European Community, Brussels, 2003.

HIETAMÄKI J, KUOPPALA M, KALEMA T og TAIVALANTTI K, 2003. *Thermal mass of buildings – Central researches and their results*. Tampere University of Technology, Institute of Energy and Process Engineering. Report 2003:174. Tampere, Finland, 43 pp + Annex. (In Finnish).

CEN, 2005. ISO DIS 13790: 2005. *Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for space heating*, CEN/TC 89, Brussels, Belgium.

JOHANNESSON G et al, 2006. *Possibility to energy efficient houses by new integrated calculation approach*. ByggTeknik No. 3, Stockholm, Sweden 2006, 66 pp (In Swedish).

JOHANNESSON G, LIEBLANG P and ÖBERG M. *Holistic building design for better energy performance and thermal comfort – opportunities with the Energy Performance of Buildings Directive*. Submitted in April 2006 to the International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings. Div. of Building Technology, Dept. of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

HACKER et al, 2006 *Embodied and operational carbon dioxide emissions from housing: a case study on the effects of thermal mass and climate change*. ARUP Research commissioned by The Concrete Centre and British Cement Association, UK.

WÆRP, SILJE, 2007. Oppdragsrapport *“Miljømessige aspekter ved bruk av betong - Kommentarer til “Et klimavennlig Norge” NOU 2006: 18”* SINTEF Byggforsk, Oslo

ÖBERG M, 2005 *Integrated life cycle design – Application to Swedish concrete multi-dwelling buildings*, Lund University. Division of Building Materials, Report TVBM-3103, Lund, Sweden, 117 pp.



Produsert av Betongelementforeningen med støtte fra Byggutengrenser.no, Norsk Fabrikkbetongforening – FABEKO og Norsk Betongforening