

# TERMISK MASSE

tunge byggematerialer kan redusere energibehov til kjøling

Tekst: Dr. ing., sivilark. MNAL Tommy Kleiven

Foto: T. Kleiven, Scanpix og YAYmicro

Nobels Fredspris ble i 2007 tildelt Al Gore og FNs klimapanel. De fikk prisen for innsatsen for å skape og spre større kunnskap om menneskeskapt klimaendring og for å legge grunnlag for de tiltakene som kreves for å motvirke disse endringene. Utdelingen viser at det internasjonale samfunn tar de negative konsekvensene av menneskets voksende energi- og ressursforbruk på alvor. Det er en klar sammenheng mellom det voksende forbruket av ikke fornybar energi, som olje, gass og kull, og utslipp av miljøgassene som bidrar til den global oppvarmingen.

I Norge og den vestlige verden forøvrig står byggsektoren for en signifikant del av det samlede energiforbruket, og dermed også en stor del av klimagassutslippene.

Energibruken til drift av norske bygninger er på ca 82 TWh<sup>1</sup> i et normalår, ifølge bygningsnettverkets energistatistikk<sup>2</sup>. Dette tilsvarer 38% av Norges totale energiforbruk om vi holder energisektoren utenfor<sup>3</sup>. Ingen annen sektor har hatt større vekst i sin energibruk, og byggsektoren har et enormt potensial for reduksjon.

Energiforbruket skjer i all hovedsak i bygningenes driftsfase<sup>4</sup>, og det er her sparepotensialet ligger. Det er de arkitektoniske og tekniske løsninger som gir et lavt energibehov i driftsfasen – til oppvarming, kjøling, ventilasjon og belysning – som er nøkkelen til at byggsektoren skal bevege seg i en mer miljøvennlig og energieffektiv retning.

Dette gjenspeiles også i stadig strengere forskrifter til plan- og bygningsloven, som for hver revisjon tillater hver bygde kvadratmeter å ha et stadig lavere maksimalt energibehov, uansett bygningstype og funksjon.



Termisk tunge konstruksjoner virker som energireservoar. De har stor varmekapasitet (evne til å holde på varme) og varmeledningsevne. Foto: YAYmicro

Sivilarkitekt, dr. ing. Tommy Kleivens doktoravhandling «Natural Ventilation in Buildings. Architectural concepts, consequences and possibilities» ble utført ved NTNU og University of Cambridge, UK.

Etter fem år som forsker ved SINTEF i skjæringsfeltet arkitektur/energi/miljø, er han nå ansatt hos Unicon AS, hvor hans primære oppgave er å bidra til at betongens fulle potensiale utnyttes i byggeprosjekter med ambisiøse energi- og miljømålsettinger. Foto: Thor Nielsen



Det som interessant nok skiller den siste revisjonen av teknisk forskrift, TEK 07, fra de foregående er at det nå også legges vekt på å begrense energibruken til kjøling. Energiltaksmodellen i forskriften forbyr lokal mekanisk kjøling. Bygningsnettverkets energistatistikk viser at kontorbygninger med mekanisk kjøling har et energiforbruk som ligger 6–27% høyere enn kontorbygninger uten slik kjøling<sup>ii</sup>. Dette er opphavet og motivasjonen til å se nærmere på om bransjen kan møte kjølebehovet med alternativer som er mindre energikrevende enn mekanisk kjøling.



Foto: Solveig Vikene/SCANPIX

Et velkjent prinsipp: Eksponerte termisk masse absorberer varme utover dagen og ettermiddagen for så å kjøles ned av natteluffen

## Termisk masse

Termisk tunge konstruksjoner som mur og betong virker som energireservoar for de rom konstruksjonen er eksponert mot. Energireservoarets egenskaper i forhold til rommet avhenger av følgende tre faktorer:

- Evnen til å holde på varme (varmekapasitet)
- Evnen til å lede varme (konduktivitet)
- Hvordan varmekapasitet og konduktivitet harmonerer med døgnsyklusen til utetemperaturen (kaldere netter enn dager)

Prinsippet er rimelig enkelt og kan sammenlignes med evnen en svamp har til å ta opp vann og å avgi vann om den vrís opp.

Forfølger vi denne analogien kan vi tenke oss eksponert termiske masse som svampen. Vannet tenker vi oss som overskuddsvarmen fra personer, utstyr, elektrisk belysning og solvarme. Den eksponerte termiske massen absorberer overskuddsvarme utover dagen og ettermiddagen etter hvert som innetemperaturen stiger. På grunn av høy varmekapasitet greier betong og tegl å ta opp mye termisk energi (varme). Når natten senker seg og utstyr og belysning slås av, personer forlater lokalet og utetemperaturen synker, kan den kjølige natteluffen brukes til å kjøle ned den eksponerte termiske massen. «Svampen vrís opp» og gjøres klar til å absorbere mer varme dagen etter. Dette kan gjøres med naturlig ventilasjon, ved at vinduer eller luker (eks. windowmaster) åpnes på motstående fasader for naturlig kryssventilasjon av kjølig natteluft. Mekanisk

ventilasjon kan også benyttes, men dette medfører da økt elektrisitetsforbruk til drift av vifter. Uavhengig av kjølemetode transporteres den absorberte overskuddsvarmen vekk fra den termiske massen. Neste dag er energireservoaret igjen klart til å absorbere overskuddsvarme.

For å illustrere viktigheten av materialeegenskapene *varmekapasitet* og *konduktivitet* i denne sammenhengen ser vi raskt på egenskapene til noen kjente materialer:

### Mineralull

leder varme dårlig, og har lav varmekapasitet. Dette betyr at materialet ikke utgjør noe reelt reservoar.

### Stål

har høy varmekapasitet og leder varme svært godt. Ledningsevnen til stål er for god, hvilket i denne sammenhengen betyr at energireservoaret lades og tømmes for raskt i forhold til døgnsyklusen.

### Tre

har også relativt høy varmekapasitet, men leder varme dårlig. Den dårlige ledningsevnen gjør at energireservoaret lades og tømmes for langsomt i forhold til døgnsyklusen.

### Betong og tegl

har høy varmekapasitet og moderat ledningsevne. Denne kombinasjonen gjør at energireservoaret kan lades og tømmes i samsvar med døgnsyklusen.



Foto: T. Kleiven

Innvendig eksponert betong og tegl i gulv, tak eller vegg kan utnyttes til å ta opp og avgi varme over døgnet for å redusere behovet for energikrevende mekaniske klimatiseringsanlegg. Prinsippet kan sammenlignes med svampens evne til å ta opp vann og avgi vann når den vrís opp. Bildet over er fra Realfagsbygget i Trondheim, ark. HUS og Narud, Stokke, Wiig AS.



Foto: gettyimages.com

Ved utnyttelse av termisk masse flyttes overskuddsvarme fra dagtid til nattetid, dermed reduseres eller unngås behovet for mekanisk kjøling samtidig som oppvarmingsbehovet reduseres.

Bygningsmaterialene betong og teglmurverk har ideell varmekapasitet og konduktivitet når det gjelder å magasinere og avgi termisk energi i samsvar med døgnsyklusen. Temperatursvingningene over døgnet vil derfor være mindre i en bygning med mye eksponert termisk masse (høy varmekapasitet) enn i en bygning med lite eller ingen eksponert termisk masse (lav varmekapasitet). Dette er også grunnen til at det er mindre energikrevende å opprettholde jevn temperatur og god termisk komfort i en tung bygning enn i en lett. Og dette blir en stadig viktigere egenskap ettersom bygningene våre blir bedre isolert og nattsinking av temperaturen blir mindre og mindre aktuelt, eksempelvis i passivhus. Ved bevisst utnyttelse av termisk masse flyttes overskuddsvarme fra dagtid til nattetid, og på den måten reduseres eller unngås behovet for mekanisk kjøling samtidig som oppvarmingsbehovet reduseres. Det største potensialet ligger imidlertid på kjøling, og det er her at utnyttelse av termisk masse virkelig kan utnyttes for å redusere energibehovet i bygningers driftsfase.

## Forutsetninger

Tre forutsetninger må være oppfylt for at termisk masse skal kunne utnyttes til passiv kjøling av bygninger:

- 1 Den termiske massen må være eksponert mot de rom som har kjølebehov, alternativt i føringsveier for ventilasjonsluft til rom som skal klimatiseres (sjakter, kulverter)
- 2 Den termiske massen som skal utnyttes som termisk reservoar over døgnsyklusen må ligge innenfor isolasjonssjiktet
- 3 Den termiske massen må kunne settes i termisk kontakt med kjølig natteluft gjennom naturlig eller mekanisk ventilasjon

Bruk av termiske masse til klimatisering av bygninger må sees i sammenheng med nattkjøling, utvendig solavskjerming, dagslysutnyttelse og behovsstyring av belysning. En tverrfaglig tilnærming er nødvendig for å sette sammen flere ulike systemer og teknologier til ett helhetlig konsept.



Danske eksempler på eksponert grå og hvit betong som utnyttes som energireservoar, konstruktive elementer og som en viktig del av det arkitektoniske uttrykket. Bildet til venstre er fra atriet i København Business School "Kilen" (2007), København, Lundegaard & Tranberg Arkitekter. Bildene på neste side er av Scion Science Centre "Søhuset" (2005), Hørsholm, Cubo Arkitekter. Foto: T. Kleiven

## Planlegging – viktige momenter

Her beskrives kort de viktigste momentene utbyggere, arkitekter, konsulenter og entreprenører må vie oppmerksomhet når termisk masse skal inngå i bygningens klimatiseringskonsept.

- Hvor i bygget skal den termiske massen eksponeres? I føringsveiene for ventilasjonsluft eller i gulv, vegger eller tak inne i bygningen?
- Strategi for kjøling av den termiske massen velges: Nattkjøling gjennom naturlig eller mekanisk ventilasjon, eller frikjøling ved å la kaldt vann sirkulere i innstøpte rør i betong/murverk?
- Effektiv utvendig solavskjerming på soleksponerte fasader er svært viktig for å redusere faren for overoppheting og påfølgende høyt kjølebehov. Merk at fasader har høyest solinnstråling tidlig på året (mars) og utpå høsten (oktober) pga. lav solhøyde. Om sommeren kan østfasader være eksponert for sol i flere timer før arbeidsdagen tar til, slik at solavskjerming av østfasader også må vurderes avhengig av sted, tomt og bygningsform.
- Organisering av plan og snitt slik at rom og funksjoner med høy internlast (eks. møterom) ikke legges inntil en soleksponert glassfasade reduserer kjølebehovet betydelig, noe som bidrar til at aktiv kjøling kan unngås.
- Utnyttelse av dagslys er gunstig for innemiljø og helse, og bidrar i tillegg til å redusere internlasten (varmeavgivelse) og elektrisitetsforbruk relatert til belysning. Ved fjerning av nedforede himlinger for eksponering av termisk masse i etasjeskillere frigis fasadeareal som tillater høytstående vinduer eller vindusbånd. Høytstående vinduer gir godt dagslysnivå dypere innover i planen, slik at bruken av elektrisk belysning kan reduseres. Himlinger i lys betong (evt. hvitmalte) reflekterer dagslyset best innover i planen.
- Høytstående vindusbånd med bunnhengslede, innadslående vinduer er egnet for naturlig kryssventilering nattetid for å kjøle ned den termiske massen (eks. betonghimling). Høytstående åpningsvinduer er også egnet for generell vinduslufting da risikoen for trekk er mindre enn for vinduer i sittehøyde – tilluften får lengre tid til å blandes med inneluften før den kommer i oppholdssonen.
- Dersom naturlig ventilasjon skal benyttes til kjøling av termisk masse nattetid: Planlegg for naturlig gjennomstrømning av luft gjennom bygget, med lite trykktap og kortest mulig avstand fra inntak til avkast.
- Behovsstyring av belysning og utstyr reduserer elektrisitetsforbruk og internlast og dermed også kjølebehovet. Tilstedeværelses- og dagslyssensorer reduserer både elektrisitets- og kjølebehov.
- Bygningsdetaljer som eliminerer eller reduserer kuldebroer er spesielt viktig når det bygges i betong og mur. Vær nøye med detaljeringen i overgangene dekkefor-kant/yttervegg, yttervegg/fundament, innfesting av balkonger og svalganger, detaljering rundt vinduer og dører.
- Eksponert termisk masse betyr harde overflater som i de fleste bygningsfunksjoner og rom krever akustiske absorberer for å oppnå god romakustikk. Utfordringen er å avstemme areal for eksponert termisk masse og areal for akustiske absorberer for å oppnå god romakustikk og termisk komfort (kjølekapasitet) på samme tid. Vertikale absorberer nedhengt fra taket er én måte å få til dette på. Andre muligheter er å integrere absorberer i møbler, vegger og skillevegger samt å benytte tepper på gulv.
- Eksponering av termisk masse avdekker mur- og betongflater som har estetisk potensial relatert til struktur, materialitet, farge og uttrykk i vid forstand. Her er det bare å slå seg løs!



## Sentrale utfordringer

### Romakustikk

Tunge materialer med harde, slette overflater som f.eks. betong, tegl og pusset lettklinker absorberer bare 1–5 % av lydenergien<sup>5</sup>, dvs. de reflekterer 95–99 %. Dette oppleves som ekko, det gir dårlig taletydighet og generelt «grøtete» lyd.

Romakustikken kan forbedres med akustiske absorbenter som reduserer etterklangstiden til ønsket nivå. Slike absorbenter er ofte i mineralull. Disse «kortsletter» den termiske utvekslingen mellom rommet og den termiske massen dersom de for eksempel installeres som en nedforet himling under et etasjeskille i betong. Utfordringen ligger i å avstemme arealbehovet for eksponert termisk masse og arealbehovet for akustiske absorbenter for å oppnå god romakustikk og god termisk komfort på samme tid. Vertikale absorbenter som henger ned fra taket er én måte å få til dette på. Andre muligheter er å integrere absorbenter i møbler, vegger og skillevegger samt å benytte gulvtepper.

### Kuldebroer

Bygningsdetaljer som ikke gir kuldebroer er spesielt viktig når det bygges i betong og murverk, da disse materialene har høyere ledningsevne enn for eksempel tre.

I tillegg til å gi forhøyet varmetap og energiforbruk øker kuldebroer risiko for innklimaproblemer, både fornemmelse av trekk og kondensasjon på innvendige flater med fare for mikrobiell vekst.

### Finish og presisjon

Når betong skal stå eksponert, enten i gulv, vegg eller tak, kreves nøyaktig utstøping og beskyttelse av overflatene gjennom byggetiden. Dette er en utfordring som primært ligger hos entreprenør.

For murverk er dette enklere, da teglmurverk tradisjonelt står eksponert og det følgelig er lang tradisjon både når det gjelder uttrykk og estetikk.

### Merknader

- <sup>1</sup> TWh er forkortelsen for terrawatt timer.  
1 terrawatt = 1 billion watt =  $1 \times 10^{12}$  watt
- <sup>2</sup> Bygningsnettverkets energistatistikk 2006.  
Enova-rapport 2007:2
- <sup>3</sup> Energisektoren omfatter næringer som utvinner eller produserer energi, som elektrisitetsverk og fjernvarmeverk, samt utvinning og raffinering av olje og gass.
- <sup>4</sup> I. Sartori, A.G. Hestnes. "Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article". *Energy and Buildings* 39:2007 pp. 249-257.
- <sup>5</sup> Byggforskseriens byggdetaljblad 527.300 'Lydabsorberende materialer'