

ENERGIEFFEKTIVE BETONGELEMENBYGG

UTNYTTELSE AV TERMISK MASSE

Bearbeidet og tilrettelagt til norsk av Betongelementforeningen

INNHOLD

1. BETONGENS TERMISKE EGENSKAPER	
1.1 Generelt	s.4
1.2 Utnyttelse av betongens termiske masse og energiforbruk	s.4
1.3 Innetemperatur	s.5
1.4 Byggets tetthet	s.6
2. PRINSIPPER FOR ENERGIEFFEKTIVITET	
2.1 Energieffektivitet og forskrifter	s.8
2.2 Innendørs lufttemperatur og komfort i næringsbygg	s.9
2.3 Yttervegger og ventilasjon	s.9
2.4 Aktiv utnyttelse av termisk masse	s.12
3. ENERGITEKNISK PLANLEGGING AV BYGNINGER I TUNGE KONSTRUKSJONER	
3.1 Utforming av bolighus	s.15
3.2 Planlegging av næringsbygg	s.17
4. FRA LAVENERGIBYGNINGER TIL PASSIVE- OG NULLENERGIBYGNINGER	
4.1 Utviklingstrinn	s.18
5. BETONG OG KLIMAGASSUTSLIPP (CO ₂)	
Konklusjon	s.19
6. PROSJEKTEKSEMPLER	
6.1 Norge	
6.1.1 Sparebanken 1 SMN - hovedkvarter	s.21
6.1.2 T-box passivhus	s.23
6.1.3 Bolig i Svolvær, Lofoten	s.25
6.2 Andre land	
6.2.1 Eksempel på thermodeck systemet, boligblokk "lärkträdet", Sverige,	s.27
6.2.2 Lavenergi bolighus Mera, Heinola, Finland	s.28
6.2.3 Biblioteket ved Dresden High School for Technology and Business, Tyskland	s.29
6.2.4 Vbi ecoprefab system i et nybygg ved Groningen universitet, Nederland	s.30
REFERANSER	s.31

Layout: www.mooo.no

ISBN 978-82-993192-8-7

Oslo, Oktober 2013

Omslagsbilde: Statens Havarikommisjon, Kjeller

Fotograf: John-Erik Reiersen

Denne publikasjonen er basert på; "Entire Kivitalon energiatehokkuusesite", utgitt av Betoniteollisuus ry og "Energieffizienz im Hochbau" utgitt av Beton Marketing Deutschland. Disse er bearbeidet og tilrettelagt for norske forhold av Betongelementforeningen, med bidrag fra Rasmus Z. Høseggen, Kristin Holthe, Liv-Margrethe Hatlevik Bjerger, John Erik Reiersen, Kari Pessi, Ole H. Krokstrand og Mari Flaata.

FORORD

Betongelementforeningen (BEF) har røtter tilbake til 1927 da de første sementvarefabrikkene organiserte seg i egen bransjeforening. I dag organiseres nesten alle betongelementprodusentene og svært mange montasje-entreprenører i BEF. Bransjeforeningen er samlokalisert med Byggenærings Landsforening og øvrige bransjeforeninger i Næringslivets Hus. Dette har over mange år bidratt til rasjonell drift og samordnet innsats over viktige parametere som næringspolitikk, økonomi, miljø, samfunnsansvar og utdanning.

BEF har tre definerte satsingsområder

1. Standardisering, konstruksjons-, og montasjeteknikk.
2. Miljø og HMS.
3. Rekruttering og utdanning.

Innenfor alle områdene har foreningen etablert konkrete resultatmål, i en litt bredere forståelse av punkt 2 (miljø), har man definert noen aktivitetsmål i tillegg. Denne folderen er en del av foreningens satsing på miljørettede tiltak som et bidrag til byggebransjens samfunnsoppdrag; å redusere energikonsumet til drift av bygg og anlegg.

Betong har mange gode egenskaper, en av disse er evnen til å absorbere og magasinere energi. Denne egenskapen kan utnyttes i nærings- og boligbygg. Etter hvert som det kreves at bygg skal bruke mindre energi til oppvarming og kjøling, får byggematerialenes termiske lagringskapasitet større betydning. Frem til i dag har det vært vanlig å bruke mekanisk klimatisering av bygg for å holde temperaturen på et akseptabelt nivå. Ved å utnytte betongens termiske egenskaper kan man redusere energibruken. I denne publikasjonen forklares prinsippene bak og hvordan betongens termiske egenskaper kan utnyttes på en god måte. Vi presenterer noen prosjekteksempler både fra inn- og utland som kan illustrere at man kan velge flere innfallsvinkler med en kombinasjon av byggematerialet og konstruktive løsninger.

Vi behandler også betong og CO₂ – utslippene ved produksjon av sement i et eget avsnitt. CO₂ – utslippet ved produksjon av sement er en utfordring som industrien har stort fokus på. Samtidig arbeider mange betongelementprodusenter med tiltak som øker bruken av blandingssementer eller sementer som er produsert med mindre energibruk. Noen betongelementprodusenter har også gått over til bioenergi som energibærer til oppvarming og varmtvann i produksjonslokalene.

1. BETONGENS TERMISKE EGENSKAPER

1.1 GENERELT

Betong er verdens mest brukte byggemateriale. Dette skyldes en kombinasjon av god tilgang på råmaterialer, enkel produksjonsteknikk og at materialet er holdbart over tid. Ved å utnytte betongens termiske egenskaper kan man redusere energiforbruket i en bygning.

Fordeler ved bruk av betong i bygninger

- produsert av naturens egne råmaterialer.
- sunt inneklima.
- sterkt, holdbart, langt livsløp.
- brannsikkert.
- energibesparende ved utnyttelse av termisk masse.
- lave total kostnader.

1.2 UTNYTTELSE AV BETONGENS TERMISKE MASSE OG ENERGIFORBRUK

Oppvarming, belysning og kjøling står for 40 % av landbasert energibruk. Små reduksjoner i bygningers energiforbruk vil gi utslag på landets totale energiforbruk og redusere utslipp av karbondioksid. Byggematerialenes evne til å lagre og frigjøre energi har innvirkning på bygningens energieffektivitet. Betong er som et reservoar som lagrer varme fra solen, mennesker, belysning og apparater.

Betongen lagrer energien og frigjør den på et senere tidspunkt. Termisk masse sparer altså energi både til oppvarming og kjøling. Det blir mindre variasjon i innetemperaturen; etter en varm sommerdag vil nattelufta kjøle ned betongoverflatene og bidra til lavere innetemperatur neste dag. Det vanligste er å utnytte den termiske massen i bygningens dekkekonstruksjoner og vegger, spesielt i boliger, som gjerne har større veggareal per kvadratmeter gulvareal.

Byggematerialenes termiske egenskaper

Termisk tunge konstruksjoner virker som lager for termisk energi, men det er stor forskjell mellom ulike byggematerialer.

- Mineralull leder og binder varmen dårlig. Derfor lagrer ikke materialet varme.
- Stål har god termisk kapasitet, men også gode varmeledende egenskaper.
- Tre har også relativt god termisk kapasitet men leder varme dårlig. Derfor har det en energilagringsevne som responderer for sakte.
- Betong har god termisk kapasitet og gjennomsnittlig varmeledningsevne, denne kombinasjonen gjør det best egnet til lagring av energi.

Det er gjort mange studier av tunge materials varmelagringsevne. Europeisk forskning har bl.a. påvist besparelser på opptil 15–20 % i tunge konstruksjoner sammenlignet med lettere konstruksjoner/1/. En nordisk studie /2/ påviste mulige besparelser i energi til oppvarming på 3–14 % i forhold til hus bygget i lette materialer. Besparelsen økte når vindusflatene i bygningen ble større. Størst besparelse oppnås likevel ved kjøling av bygg. I en bygning i tunge materialer er det mulig å redusere kjøleenergien med 20–50 % sammenlignet med en bygning i lette konstruksjoner. I noen tilfeller kan man helt unngå bruk av energi til mekanisk kjøling.

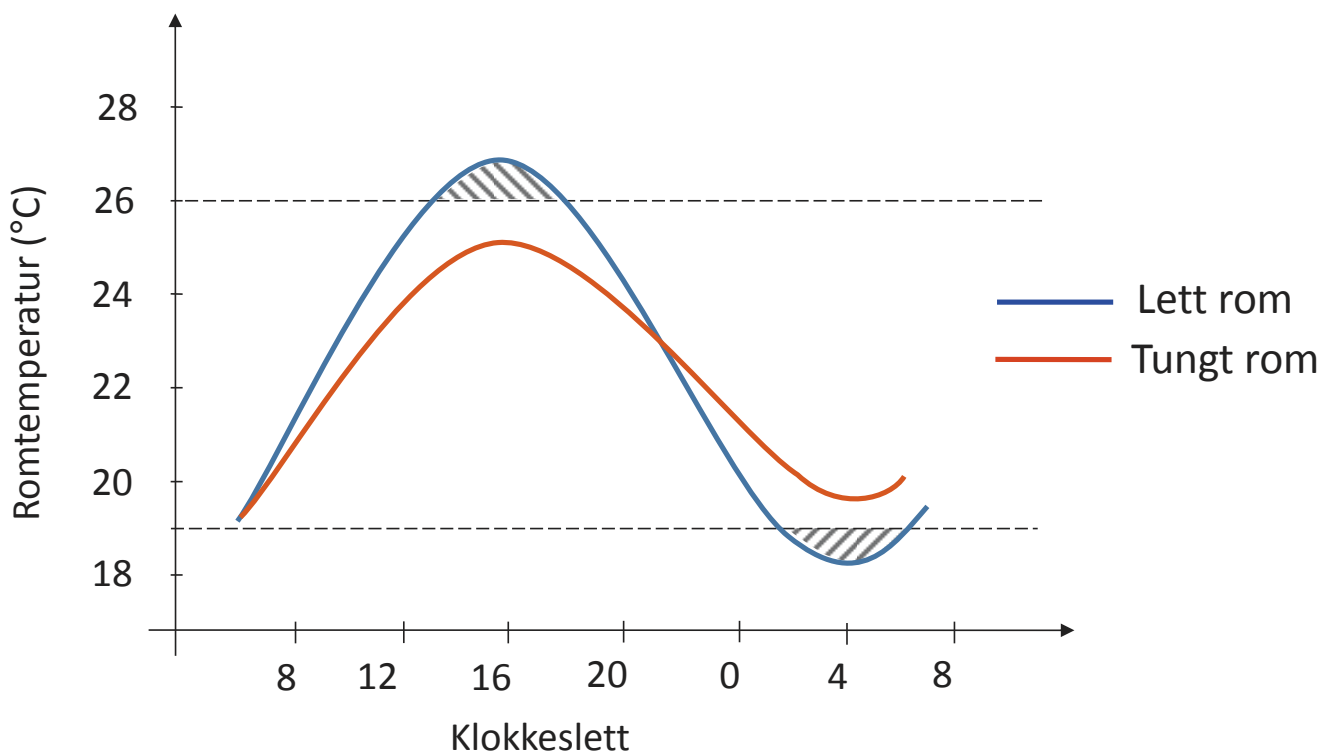
Utnyttelsesgraden av termisk masse er i praksis avhengig av mange faktorer

- Massens plassering i rommet.
- Vindusarealet.
- Overflatematerialer.
- Byggets orientering (himmelretning).
- Interne varmelasters størrelse.
- Ventilasjonsteknisk løsning og styringsstrategi.

Bygningens energibehov beregnes i henhold til europeisk standard NS-EN ISO 13790:2008 /16/ og NS 3031 /25/. Retningslinjer for utnyttelse av termisk masse i beregninger finner man i /8/, /9/ og /11/. Skal man studere potensialet for å utnytte termisk masse i bygninger fullt ut, trengs imidlertid dynamiske energiberegningsprogrammer.

1.3 INNTEMPERATUR

Byggforskriften krever at bygg prosjekteres slik at innnetemperaturen i oppholdsrom ikke stiger til et helseskadelig nivå, men oppleves komfortabelt for byggets brukere. Betong egner seg godt til dette formålet. Etter hvert som bygninger blir tettere og bedre isolert, oppstår behovet for kjøling på varme sommerdager. Ifølge IEAs (International Energy Agency) rapport /5/, er naturlig og passiv avkjøling den beste løsningen for utjevning av temperaturer. I tunge bygg kan innnetemperaturen reduseres betraktelig. Selv uten noen form for mekanisk kjøling vil innnetemperaturen på varme sommerdager være 3–6 grader lavere enn i en tilsvarende bygning i lette materialer /1/. Betongens temperaturutjevne egenskaper demper temperaturstigninger på dagtid og temperaturfall på nattetid. I en nordisk studie der man sammenlignet effekten av nattekjøling mellom et bolighus i tunge materialer og ett i lette materialer viste det seg at ved å tredoble luftmengden om natten i forhold til dagtidsventilasjon, ble energiforbruket til kjøling redusert med en tredjedel av energiforbruket i den lette.



Tunge konstruksjoner jevner ut innnetemperaturen. Figuren viser prinsipielt temperaturforløpet over et døgn i et lett og et tungt rom under ellers like forhold.

Varme som genereres i hetebølger om sommeren kan i enkelte tilfeller være så stor at heller ikke en betongbygning har kapasitet til å lagre all energien uten at rommene blir overopphetet. Varmelagringsskapasiteten blir 'mettet'. Men med tilstrekkelig ventilering om kvelden og natten kan man 'tømme' det termiske lageret.

Ved å utnytte betongens varmelagringsevne kan

- interne varmelaster nyttiggjøres.
- man spare 5–15% i oppvarmingsenergi.
- for høye innetemperaturer jevnes ut og reduseres med 3–6 grader.
- behovet for tilførsel av kjøleenergi reduseres med 20–50% og i enkelte tilfeller til null.
- ventilasjon nattetid fjerne behovet for kjøling om dagen.
- lavtemperaturteknikker (f.eks. jordvarme) tilføyes til en rimelig kostnad.
- bygningens CO₂-utslipp reduseres.
- investeringskostnader for tekniske installasjoner reduseres.
- effektive løsninger for lavenergi- og passivhus tilbys.

1.4 BYGGETS TETTHET

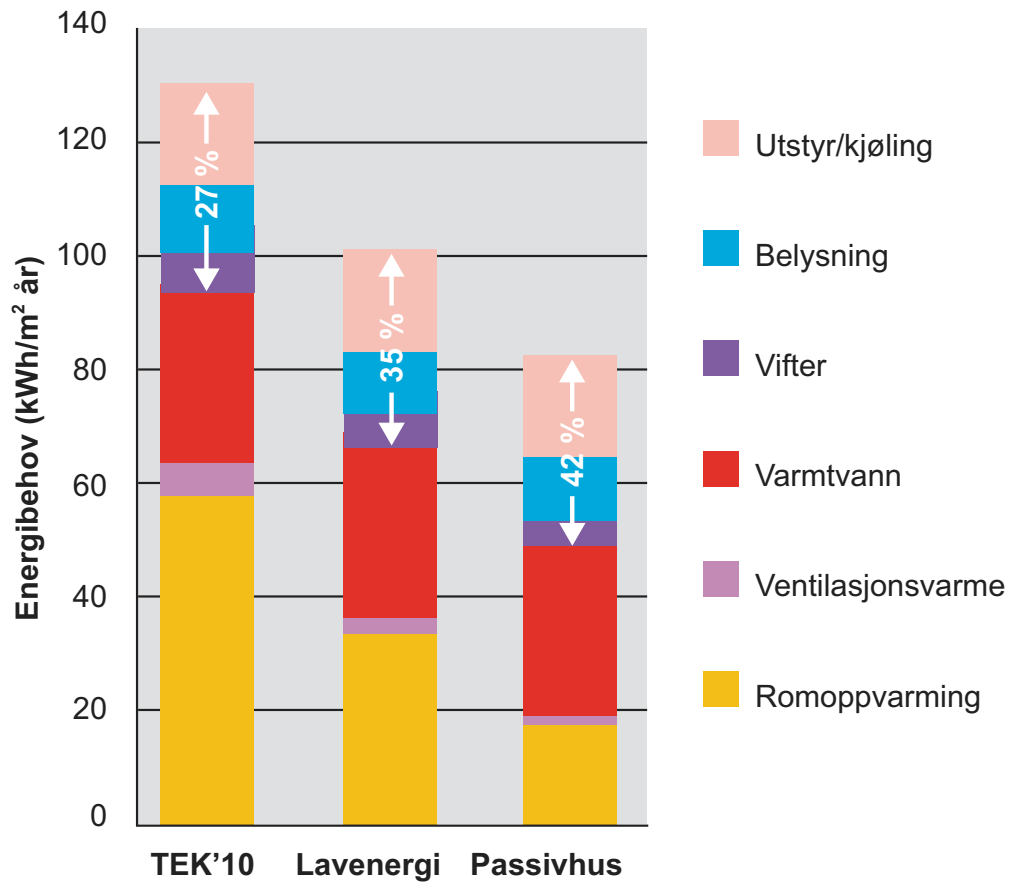
En bygnings tetthet har stor innvirkning på energiforbruket. Tetthet blir enda viktigere ettersom ytterveggenes varmeisolasjon forbedres og utnyttelsen av bygningens termiske lagringsskapasitet utvikles. Tidligere ble det ansett som viktig at ytterveggene kunne puste. I dag er et godt inneklima basert på mekanisk ventilasjon. Når luftlekkasjetallet i boliger (ved 50 Pa differansetrykk mellom ute og inne) avtar med 1.0, spares rundt 7 % av oppvarmingsenergien og rundt 4 % av det totale energiforbruket. En AISE-tetthetsstudie fra Tampere University of Technology (TUT) har målt tettheten for småhus og boligblokker /3/. Klare funn fra studien viser at gjennomsnittlig lufttetthet i hus i betong var god (gjennomsnittlig 2.3 og 1.1 1/h) og adskillig bedre enn tilsvarende funn fra bygninger i andre materialer (gjennomsnittlig 3.9 og 2.6 1/h).

Gjennomsnittlige tall for luftlekkasje hentet fra en studie av småhus (TUT)

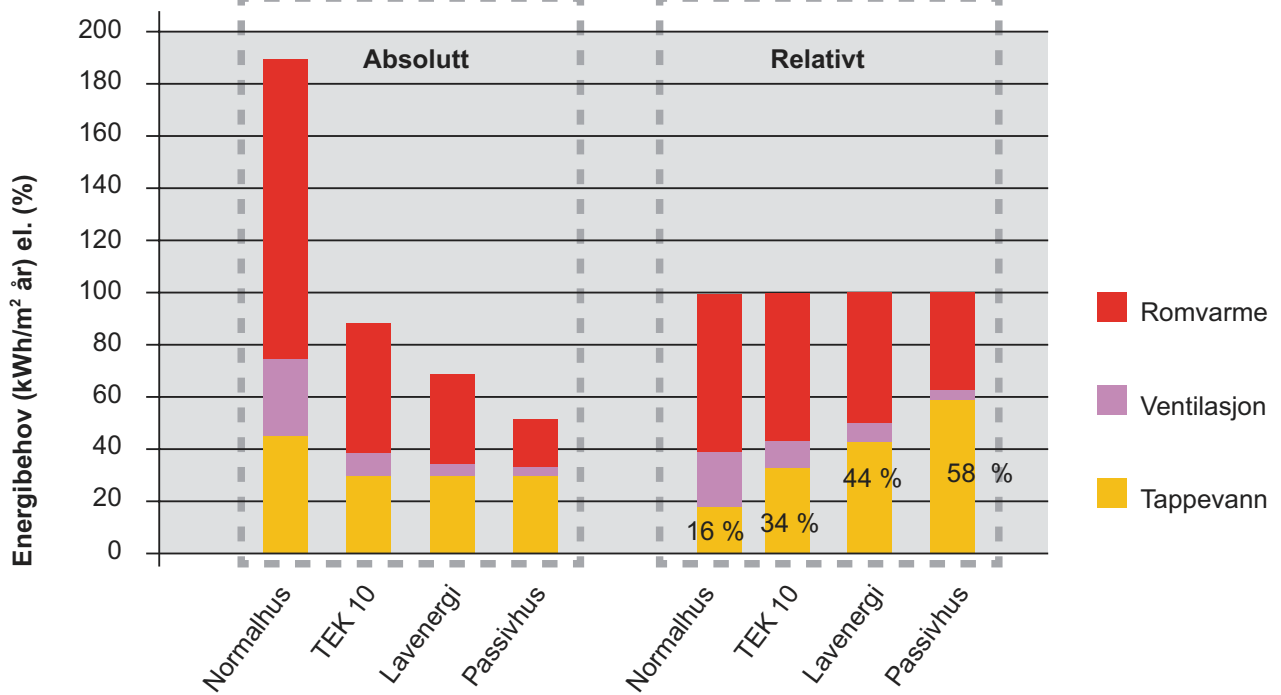
Betongbygg med takkonstruksjon i betong	1.4
Betongbygg med takkonstruksjon i tre	2.3
Trehus, tradisjonelt	3.9
Tømmerhus, tradisjonelt	7.9

Finske pilothus av betongelementer har allerede nådd et tetthetsnivå på $n_{50} = 0,1$! I boligblokker anser man et luftlekkasjenivå på 0,5 som oppnåelig – kanskje til og med enda lavere. I passivhus er målet et luftlekkasjenivå på minst 0,6. Det oppnås enklest i betongbygninger, der materialet i utgangspunktet er tett.

I et livsløpsperspektiv vil en betongfasades overlegne tetthet sammenlignet med andre byggematerialer alene oppveie energibehovet i produksjonsfasen. For å oppnå maksimal tetthet må man være spesielt oppmerksom på innfestingen av vinduer og dører, forbindelsen mellom vegg og tak, takvinduer og andre åpninger i ytterkonstruksjonen.



Eksempel på formålsdelt energibehov for en enebolig av ulike byggestandarder /24/.



Eksempel på Absolutt og relativt varmebehov for en enebolig i Oslo av ulike byggestandarder /24/

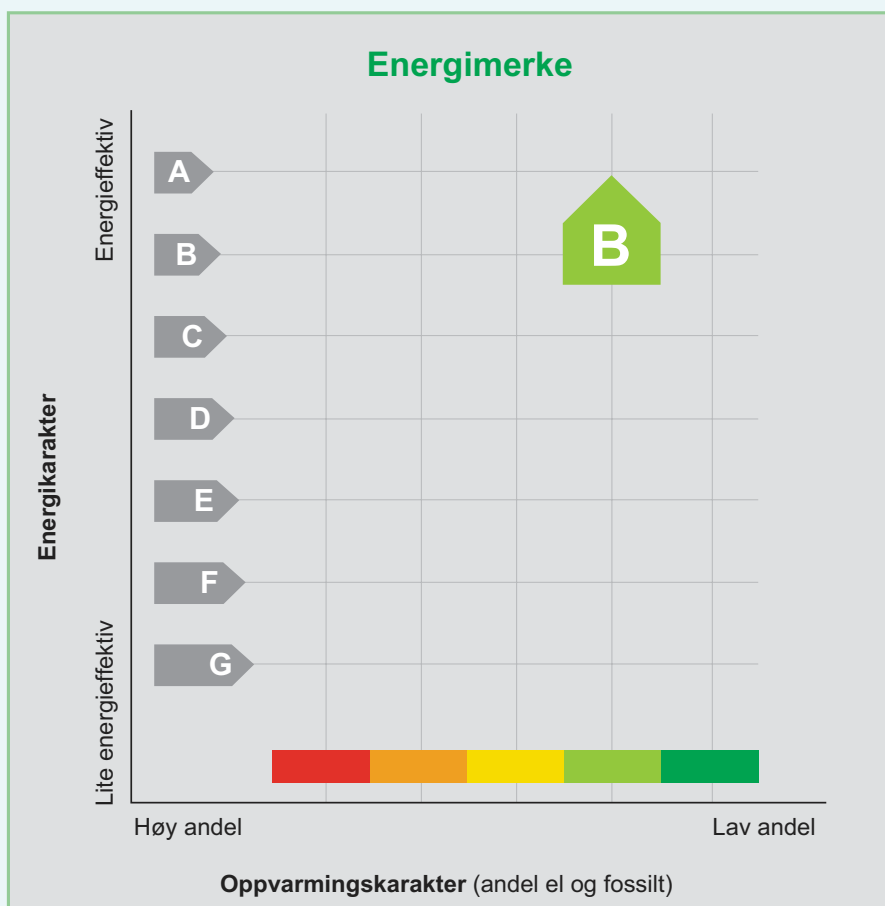
2. PRINSIPPER FOR ENERGIEFFEKTIVITET

2.1 ENERGIEFFEKTIVITET OG FORSKRIFTER

EUs mål er at alle nye bygg skal være nesten nullenergibygg innen 2020. En del av denne strategien omfatter fornyelse av direktivet for energieffektivitet. I mai 2010 godkjente EU-parlamentet det nye direktivet for bedring av energieffektiviteten i bygninger. Nasjonale forskrifter er utarbeidet i etterkant av dette. Direktivet vektlegger tiltak innen offentlig sektor, intensivering av praksis rundt energisertifisering og økt bygging av lav- og nullenergi-bygninger for å redusere utslipp av karbondioksid og energiforbruket.

EUs mål fram mot 2020

I 2010 ble bygningsenergidirektivet revidert for å medvirke til en bedre oppfylging av klimamålene. Det reviderte direktivet inneholder krav om at alle nye bygg skal være nesten nullenergibygg innen 2020. Direktivet har også klare føringer om at det offentlige skal gå foran. Bygg som offentlige styresmakter eier og bruker, skal være nesten nullenergibygg allerede i 2018. Det er medlemslandenes plikt å sørge for at minimumskravene for energisparing i bygg øker. Krav bør fastlegges for å oppnå et optimalt forhold mellom byggekostnader og reduserte energikostnader gjennom byggets livsløp. Medlemslandene kan uansett sette høyere energieffektive krav enn rene kostnadseffektive betingelser.



Det kreves at det utarbeides energisertifikat for bygninger. Energikarakteren går fra A til G, og er basert på beregnet levert energi. Oppvarmingskarakteren gis med en femdelt fargerangering fra rødt til grønt, og rangerer boligen eller bygningen etter hvilket oppvarmingsystem som er installert. (Se www.energimerking.no)

2.2 INNENDØRS LUFTTEMPERATUR OG KOMFORT I NÆRINGSBYGG

Behagelig inneklime er viktig, arbeidseffektiviteten reduseres lenge før temperaturen er utenfor vår komfortsone. Viktige elementer i så måte er temperaturen på omkringliggende flater og luftfuktighet. Dagens arbeidstagere er opptatt av et godt inneklime. Selv små svingninger i innendørs luftkvalitet oppleves ofte som negativt.

Den menneskelige kroppstemperaturen reguleres gjennom metabolske prosesser og termiske svingninger mellom menneske og miljø. Opplevelse av behagelig temperatur varierer fra individ til individ. NS-EN ISO 7730 omhandler dette temaet og er basert på langtidsstudier. Iht. standarden kan et "behagelig inneklime" defineres gjennom antall tilfredse mennesker i en tenkt brukergruppe. Denne definisjonen baseres på den generelle oppfatning av menneskelig reaksjon på termiske svingninger og presenteres i PMV-indeksen (Predicted Mean Vote). Når et nybygg skal planlegges har man tre alternative komfortnivåer i ISO 7730. På det høyeste nivået er antallet misfornøyde brukere lite, og nivået vil derfor tilfredsstillende brukere med høye krav.

Varmebalansen mellom mennesker og miljø skyldes

- konveksjon (varmeoverføring fra kropp til luft)
- fordamping av væske (svetting og utånding)
- langbølget stråling (stråling mot varme eller kalde flater)
- varmeledning og -lagring

Faktorer som påvirker opplevelsen av inneklimate er

- lufttemperatur
- omgivende flaters temperatur
- relativ fuktighet
- lufthastighet
- klær
- aktivitetsnivå

Klimaendringene gjennom skiftende årstider setter spesifikke krav til bygninger. I kalde årstider må varmetap fra bygningen minimeres og varmelagringen må fungere på høyeste nivå. I varmere årstider må man hindre termisk overføring inn til lokaler hvor mennesker oppholder seg og sørge for at varme føres bort fra disse områdene. Dette er viktige momenter ved prosjektering av nybygg. Feil i planleggingsfasen kan fort føre til økt energiforbruk og dårlig inneklime.

2.3 YTTERVEGGER OG VENTILASJON

TERMISK ISOLASJON OM VINTEREN

Ytterveggene fungerer som sperring mellom inne- og uteluft og verner brukerne mot uteklimate. Veggene skal sikre termisk isolering både sommer og vinter, slippe nok dagslys inn til rommene og forhindre utilsiktet varmetap fra luftlekkasjer. Varmeutvekslende flater (tak, gulv, vegger) spiller en avgjørende rolle for en bygnings energibalanse. For å kunne dra nytte av termisk energi vinterstid på en effektiv måte, må bygningen være godt isolert. Det er mulig å konstruere bygninger i betong uten kuldebroer. Mengden glass bør ikke overskride 20 % av bruksarealet (BRA). Fasadenes indre flate holder høyere temperatur enn glassflatene. Kjølige glassflater kan om vinteren forårsake trekk og strålingstap.

TERMISK ISOLASJON OM SOMMEREN

Energitap gjennom yttervegger kan i dag reduseres svært mye med god isolering og valg av vinduer med lav U-verdi. I tillegg vil det oppstå varmetap via ventilasjonen og luftlekkasjer. I tillegg kan indre varmebelastninger i næringsbygg føre til at det ikke er behov for oppvarming selv ved flere minusgrader ute.

Det største problemet for innemiljøet oppstår i de varme sommermånedene. Stor varmebelastning fra belysning, datamaskiner og andre apparater øker temperaturen på dagtid, særlig i næringsbygg. I tillegg kan solen bidra til kraftig oppvarming av bygninger med store glassflater. Dette påvirker de ansattes effektivitet og virker negativt på jobbtilfredsheten.

Den totale overføringskoeffisient av solenergi (g-verdien) forteller hvor mye solenergi som kommer inn i bygningen gjennom glass. Slik varmeoverføring kan reduseres ved hjelp av solavskjerming. Varmeoverføringen er oftest størst på (sør)øst- og (sør)vestsiden av bygningen, hvor solstrålene treffer bygget tilnærmet perpendikulært på vindusflaten. Rommene på sørsiden kan bli overopphetede om vinteren når solen står lavt på himmelen midt på dagen. Der den permanente solskjermingen er utilstrekkelig, må man sørge for ytterligere, justerbar skjerming mot solen. Solskjerming kan imidlertid gjøre lokalene mørke og hindre fritt utsyn. Behovet for kunstig belysning øker – noe som går på bekostning av energieffektivitet og romtemperatur.

Faktorer som påvirker inneklimate er

- utendørs temperatur
- intensiteten av solinnstrålingen
- ventilasjonsluftmengde
- indre varmebelastning fra mennesker, belysning og maskiner

Faktorer som påvirker varmebelastningen fra solen

- bygningens orientering i terrenget
- vindusarealet
- glassets evne til å reflektere solstrålingen
- solavskjerming, årstid og tid på dagen



Eksponerte betongoverflater i enebolig magasinerer varme.

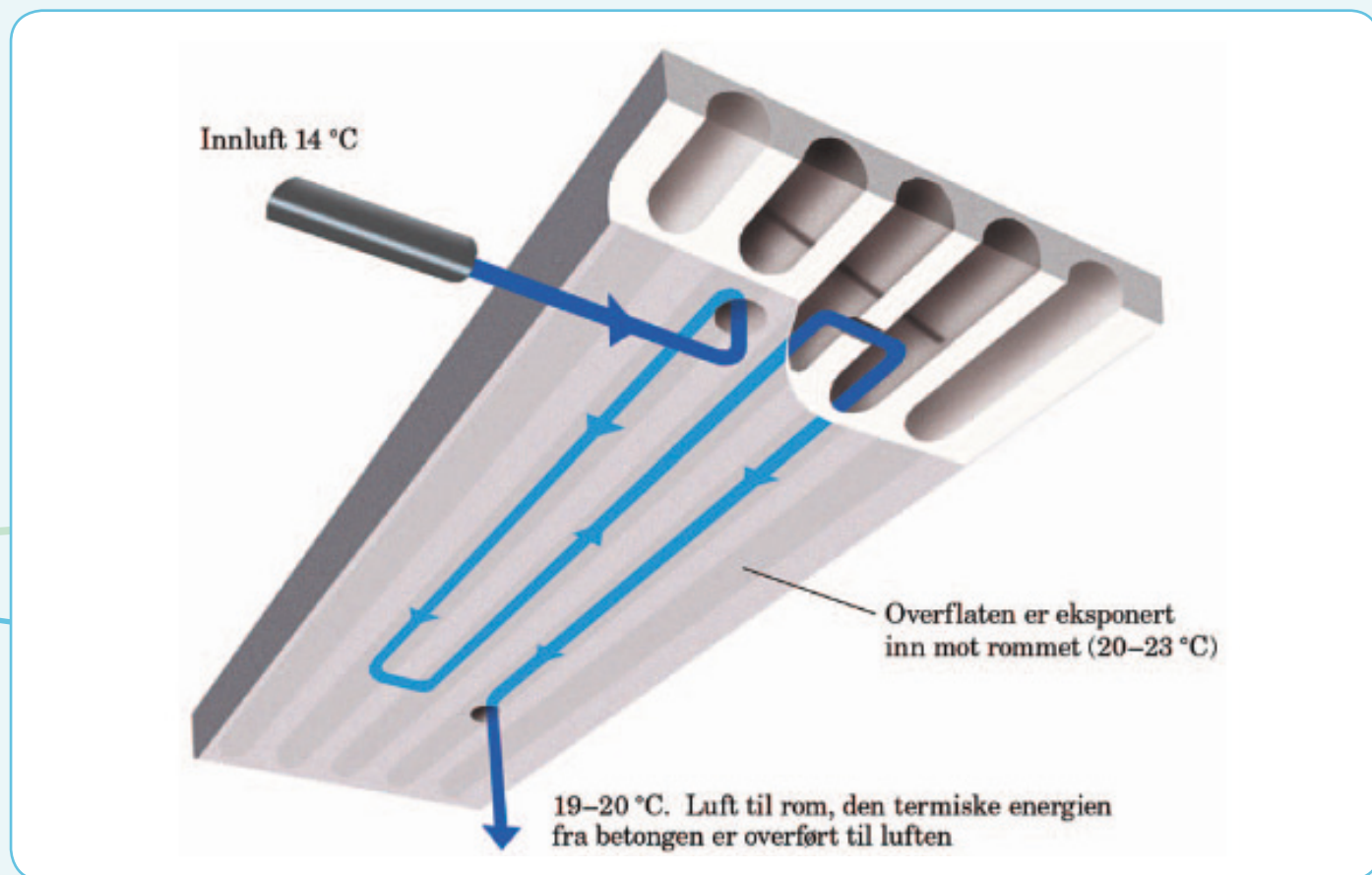
VENTILASJON

Innvendig luftkvalitet avhenger bl.a. av bygningens ventilasjonssystem. Nødvendig ventilasjon beregnes ut fra krav til luftkvalitet og ut fra interne varmebelastninger. I moderne næringsbygg med behovsstyrt ventilasjon er det ofte kjølebehovet som er dimensjonerende for ventilasjonsbehovet. Det benyttes naturlig eller mekanisk ventilasjon. Naturlig ventilasjon oppnås tradisjonelt ved å åpne vinduer for å skape gjennomtrekk. Naturlig ventilasjon kan også oppnås ved å lede varm inneluft ut gjennom takluker mens kjølig uteluft trekkes inn på et lavere nivå, gjerne gjennom kanaler i kaldere soner av bygget. Denne ventilasjonsmetoden lar seg ikke alltid kontrollere, da ventilasjonsmengdene avhenger av temperaturforskjellene ute og inne, samt vindhastigheten. Siden effektiv vindusventilasjon har sine begrensninger, må mekanisk ventilasjon settes inn som en ventilasjonsforsterker eller erstatning. Slike systemer øker kontrollen på ventilasjon og luftfordeling og tar vare på termisk energi fra brukt inneluft.

I bygninger med etasjeskillere av hulldekker kan kanalene i dekkeelementene benyttes til ventilasjon. (F.eks. TermoDeck-systemet.) På den måten unngår man plasskrevende ventilasjonsrør og fordyrende systemhimlinger eller doble dekker, samtidig som man kan redusere byggehøyden. Ved å føre tilluften gjennom underjordiske kanaler før den slippes inn i bygningen oppnår man en forbehandling idet jordmassene kjøler ned luften om sommeren og varmer opp luften om vinteren.

BETONG SOM TERMISK LAGER

Byggematerialenes varmelagringsevne er avgjørende for regulering av byggets innemiljø. Varmelagringsevnen må derfor evalueres allerede på planleggingsstadiet, og det samme gjelder ventilasjonssystemenes tekniske egenskaper. Betongens gode varmelagringsegenskaper kan utnyttes både i passive og aktive systemer.



Illustrasjon: Bruk av hulldekker til varmelagring i TermoDeck-systemet.

Betongens termiske egenskaper utnyttes optimalt når inneluft kommer i direkte kontakt med betongoverflaten. Overskuddsvarme lagres i betongen og føres tilbake til romluften på et senere tidspunkt. Betongens evne til selvregulering er spesielt fordelaktig i næringsbygg, skolebygg, teater- og kinoer og forsamlingslokaler som alle har stor variasjon i varmebelastningen.

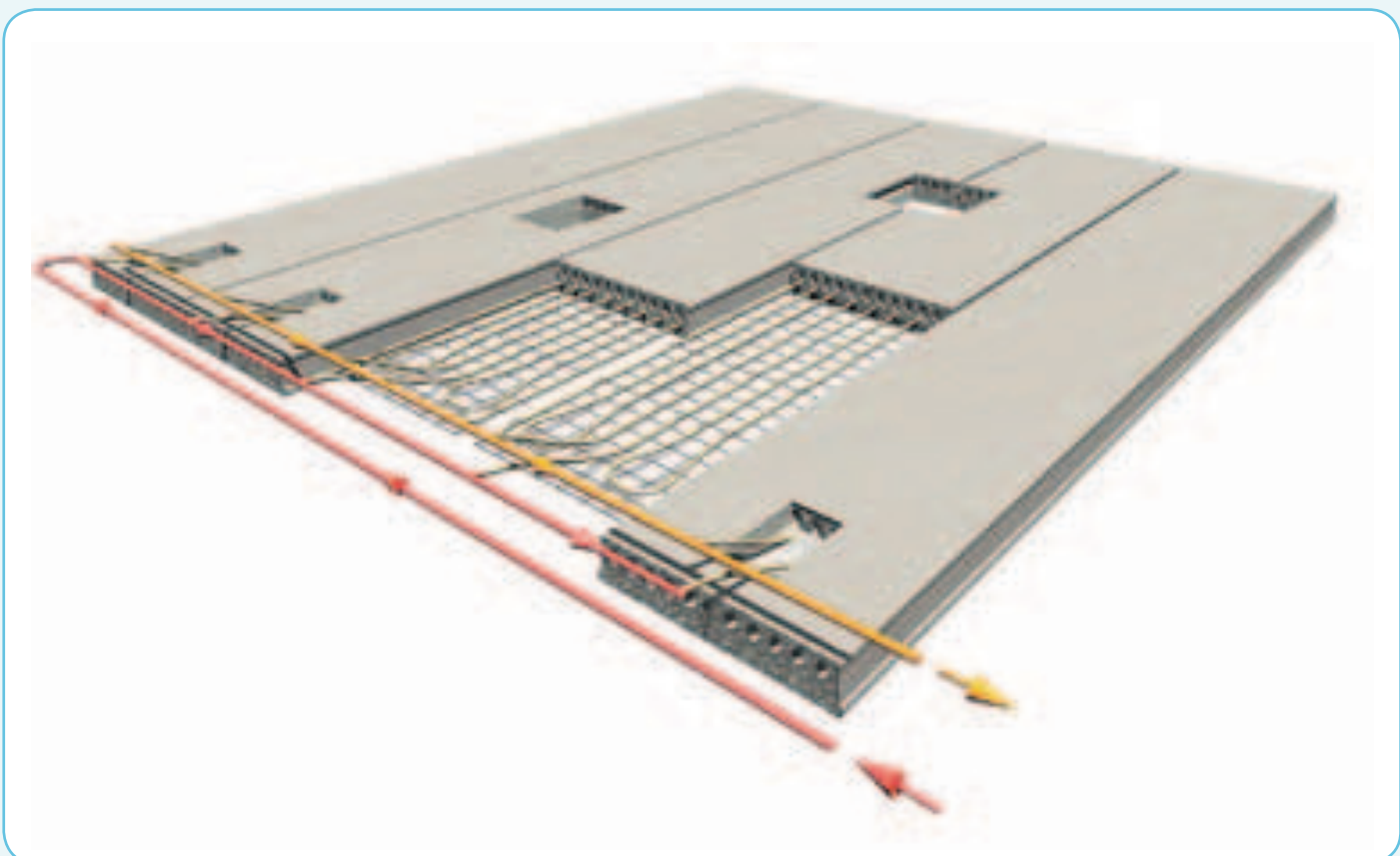
2.4 AKTIV UTNYTTELSE AV TERMISK MASSE

Aktiv utnyttelse av den termiske massen betegnes gjerne som et termoaktivt system. I næringsbygg er det spesielt etasjeskillerne som utnyttes på denne måten. En viktig grunn til dette er at kravet til fleksibilitet gjør at skillevegger må være av lette konstruksjoner som uten større inngrep kan settes opp og tas ned alt ettersom behovene i lokalene forandrer seg. Eksponert betong i ytterveggene er fortsatt en mulighet, men ytterveggarealet er lite i forhold til bruksarealet i bygget. De mest benyttede metodene er omtalt nedenfor:

AKTIVISERING VIA INNSTØPTE VANNRØR

Innstøpte plastrør i betong plasseres rundt 50 mm fra dekkets overflate. I rørene sirkulerer en væske som utveksler varme med betongen. Teknologien benyttes blant annet i løsninger med dekkeelementer (plattendekke). Om sommeren holdes romtemperaturen stabil på dagtid ved at betongen absorberer varme. Om natten blir varmeenergien som ble absorbert, enten ført tilbake til romluften om det er behov for det, eller fjernet via den sirkulerende væsken slik at betongen kan absorbere varme på nytt neste dag. De termoaktive etasjeskillerne hindrer på denne måten innetemperaturen i å stige til ubehagelige nivå.

Om vinteren kan bygningen varmes opp med det samme systemet. Aktivisering av betongmassen kontrolleres ved å regulere væskens sirkulasjonshastighet og temperatur. Varme overføres fra romluften til betongen ved stråling og konveksjon, og betongen må være direkte eksponert både mot lufta og objektene som avgir strålevarme. Derfor må undersiden av betongdekket ikke tildekkes. Temperaturfordelingen og den termiske strålingen i rommet blir svært behagelig, fordi varmen tilføres eller fjernes fra lokalene gjennom dekkeoverflatene ved lave temperaturdifferanser. Responstiden for avkjøling eller oppvarming basert på vannsirkulasjon er relativt kort. Etter endring i vanntemperaturen kan temperaturforandringen i betongdekkets overflate merkes etter 30 minutter.



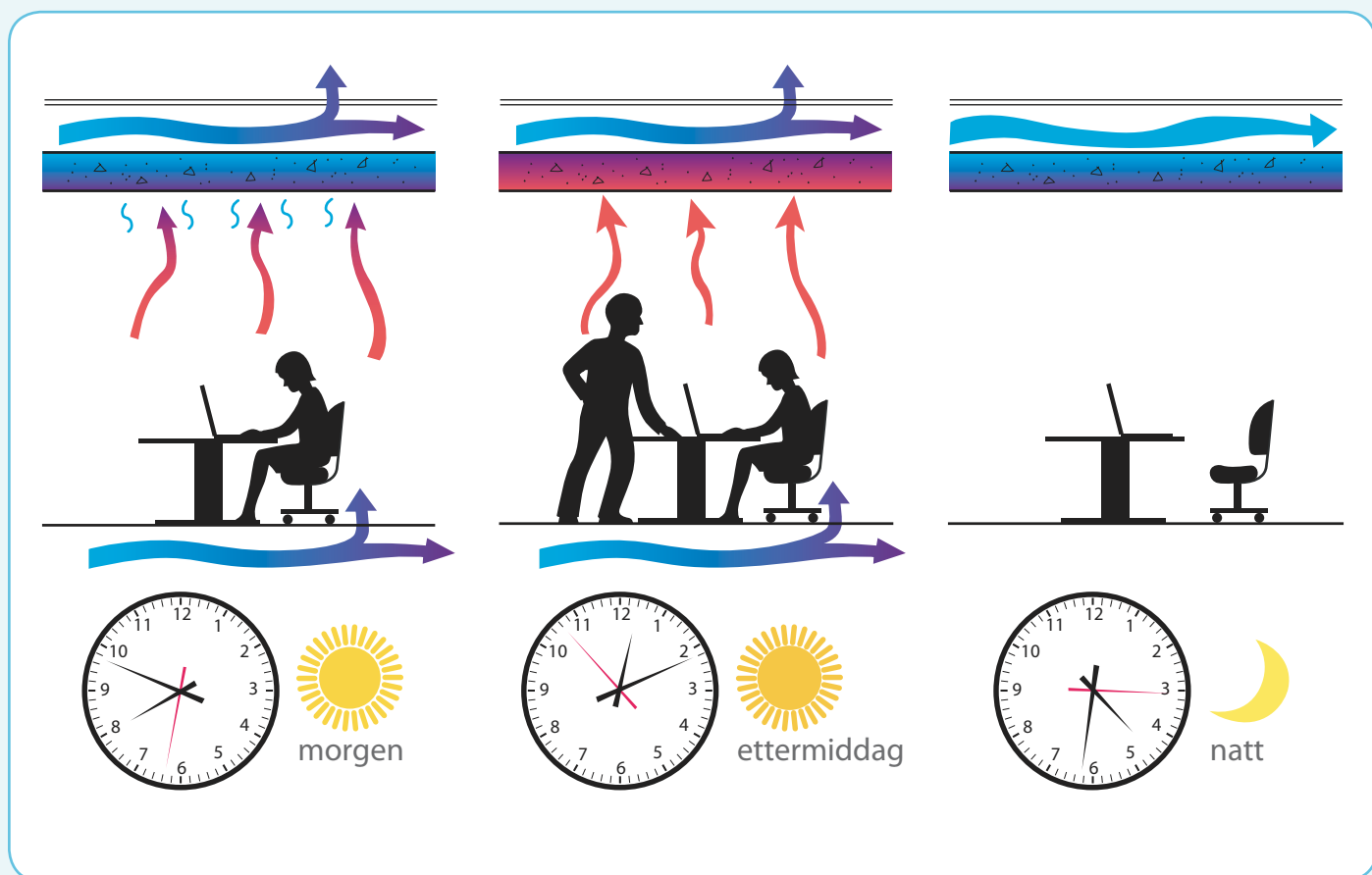
Hulldekkeelementer brukt aktivt i oppvarming og avkjøling. Bilde av rørledninger for overføring av varmetransmitterende væske. Bilde: ECHO.

VENTILASJON VIA KANALENE I HULLDEKKEELEMENTENE

I hulldekkeelementer hvor elementenes kanaler er utnyttet til mekanisk ventilasjon fungerer varmeoverføringen mellom luft og betong utmerket. Hvis mer effekt er påkrevet, kan tilskuddsluft avkjøles mekanisk. (Teknikken markedsføres under merkenavnet TermoDeck. Andre tilsvarende systemer finnes også på markedet.)

DATAGULV MED MEKANISK VENTILERING

I kontorbygg blir datagulv ofte benyttet for tekniske føringer. I tillegg kan hulrommet også utnyttes for distribusjon av ventilasjonsluft. Dette gir reduserte kanalføringer og lavere trykktap, samtidig som man nyttiggjør seg dekkens termiske masse ved at det blir direkte kontakt mellom ventilasjonsluft og betongoverflate.



Termoaktive dekker i næringsbygg kan gi tilnærmet installasjonsfrie rom med reduserte rørføringer og plass-krevende radiatorer. Termoaktive oppvarmingsystemer er potensielt mer lønnsomme enn tradisjonelle oppvarmingsystemer, fordi kostnadene ved installasjon, bruk og vedlikehold kan holdes lave.

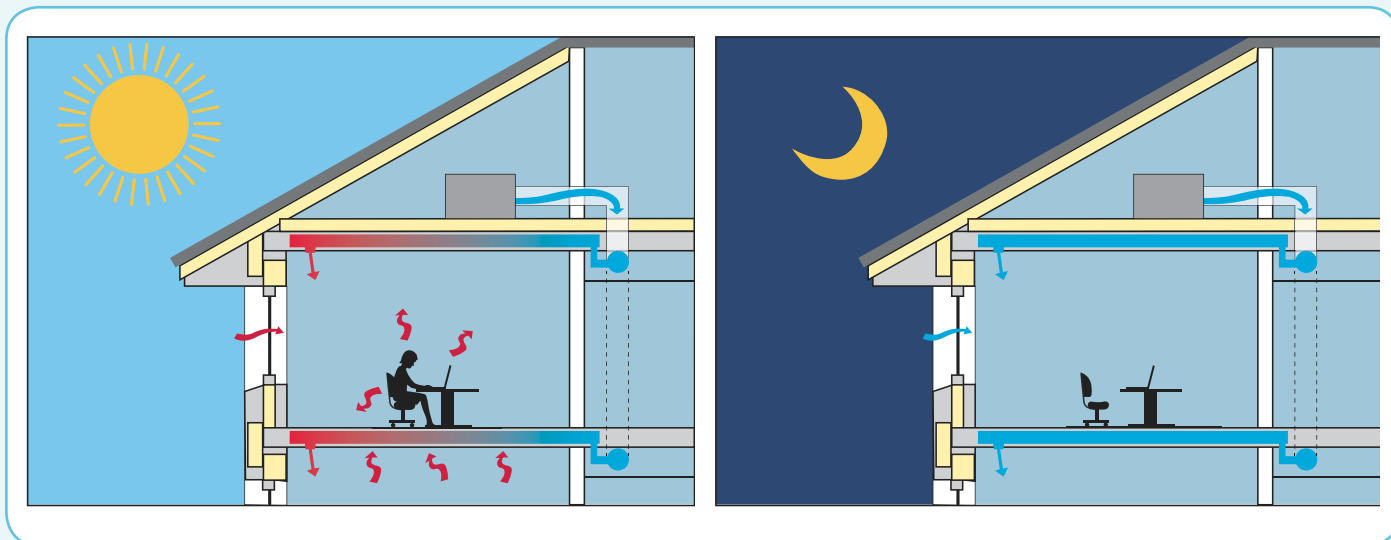
Fordeler med termoaktiverte etasjeskillere

- bygningens egen masse brukes til termisk lagring.
- lavtemperatur energikilder kan benyttes.
- redusert etasjehøyde.
- potensielt lave installasjons- og vedlikeholdskostnader.
- system for både oppvarming og avkjøling.
- kun små temperaturvariasjoner mellom betongflater og luft.
- oppvarming og avkjøling skjer gjennom stråling og konveksjon.

BRUKEN AV TUNGE KONSTRUKSJONER I UTJEVNING AV INNETEMPERATUR.

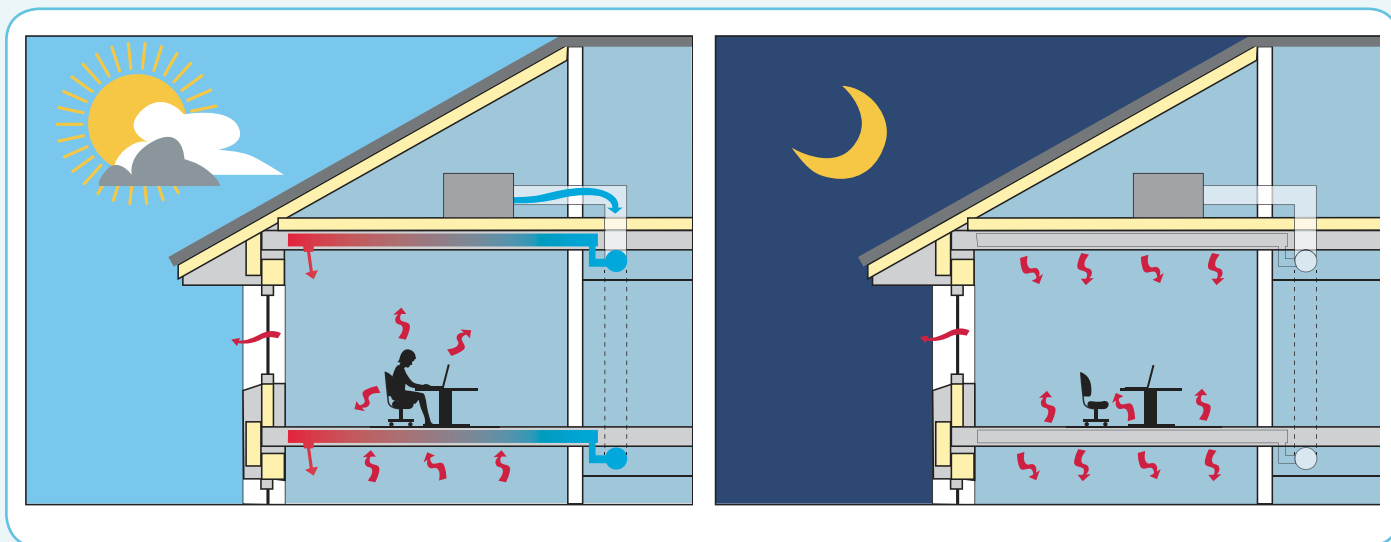
Illustrasjonen viser hvordan TermoDeck-systemet fungerer om sommeren (øvre bilde) og vinter (nedre bilde).

SOMMER



Sommer: Varmeenergi fra solinnstråling og innvendig varmebelastning på dagtid avkjøles av den nedkjølte betongmassen i dekkene. På nattetid blåses kald natteluft inn i dekkene som blir nedkjølt og klare til å ta imot varmebelastningen neste dag.

VINTER



Vinter: Forvarmet luft blåses inn i dekkene, som også tar til seg varme fra omgivelsene. Om natten avgis varmen fra dekkene til romluften.

3. ENERGITEKNISK PLANLEGGING AV BYGNINGER I TUNGE KONSTRUKSJONER

3.1 UTFORMING AV BOLIGHUS



Et passivhus kan være romslig og lyst når materialenes egenskaper utnyttes godt. Passivenergi hus Salomaa, Kaarina / Lujatalo. Bilde: A1 Media

Med nye krav til lavenergihus er energibesparelsen ved å utnytte termisk masse i boliger liten siden varmebehovet i utgangspunktet er lavt. De tunge konstruksjonene bidrar imidlertid til å holde en mer behagelig innetemperatur om sommeren, og vil kunne bidra til at det ikke er nødvendig å installere kjøleanlegg i boliger som ellers ville oppleves som overopphetede på varme dager. I kuldeperioder lagrer massene varme fra sollys og reduserer behovet for oppvarming. Betongen er mest effektiv som termisk lager når den fordeles på store flater inne i bygningen. Det er derfor svært gunstig å velge tunge materialer spesielt til bygningens vegger og dekker. For å sikre et vellykket resultat er det en forutsetning at arkitekt og tekniske konsulenter har et tett samarbeid allerede på forprosjektstadiet. Rommprogrammet kan også ha stor betydning i tillegg til materialvalg, vindusdimensjoner og -plassering.

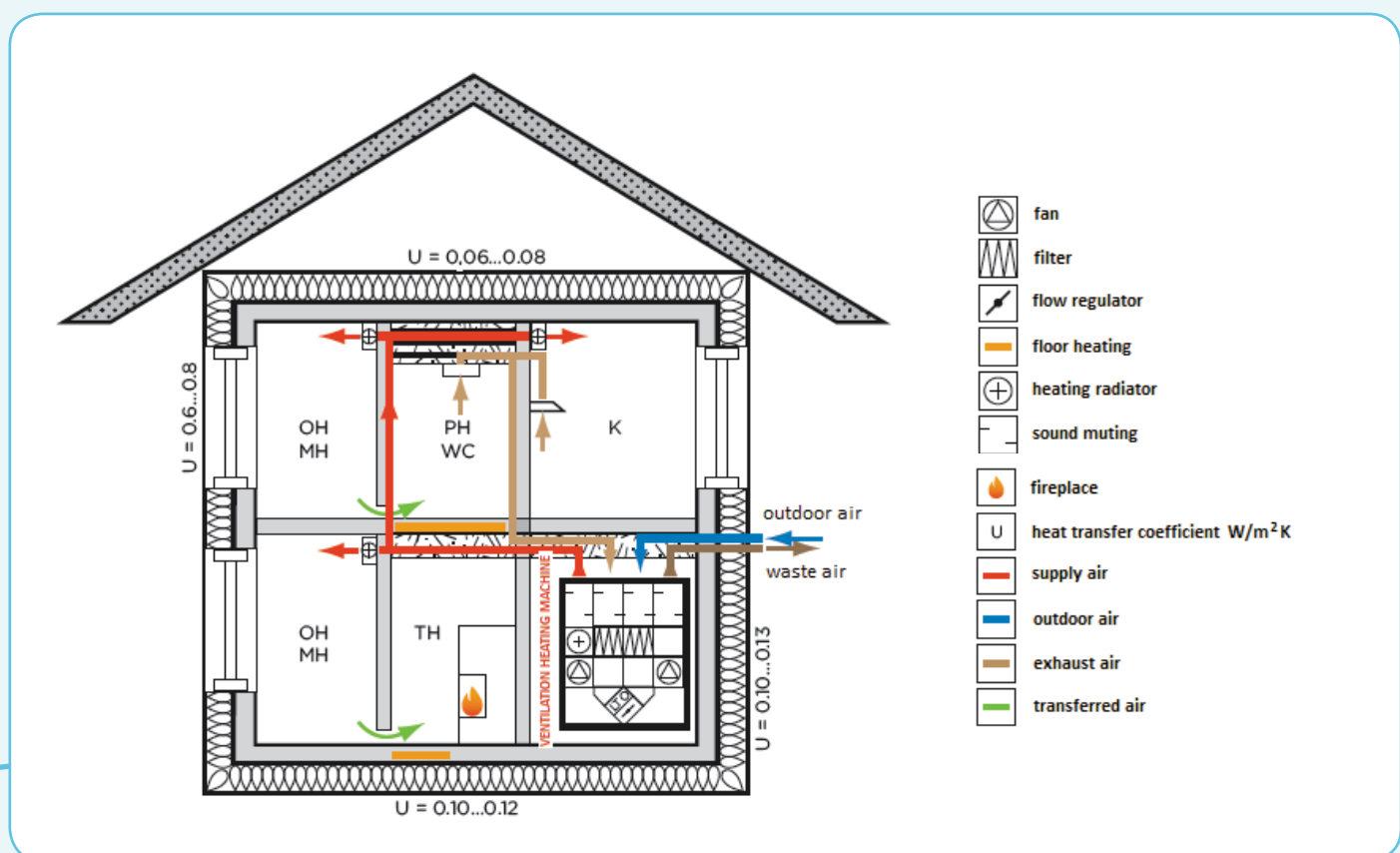
MATERIALVALG OG BYGGETEKNISKE LØSNINGER FOR LAVENERGI- OG PASSIVHUS

De lave luftlekkasjetallene i tillegg til den termiske massen gjør yttervegger av betong fordelaktig i boliger. Et betonggulv virker kaldt når man går på det barfot, derfor benyttes ofte gulvvarme. Gulvarealet som trenger oppvarming i et lavenergihus eller passivhus bør begrenses til et minimum fordi varmebelastning fra gulv også skaper behov for kjøling. Gulvvarmeanlegget skal helst ikke overskride 30 W/m^2 . Varmeenergien fra en peis eller vedovn er tilstrekkelig i mange situasjoner der det er behov for oppvarming, slik at bygningen også kan holdes varm ved strømbrudd. Forbrenningsluften må føres direkte inn fra utsiden, uavhengig av ventilasjon. Temperaturen på ventilasjon og luftmengder reguleres etter rommets behov for oppvarming og kjøling.



Rakennusliike Reponen Oy bygget en lavenergi boligblokk med eget konsept for ATT i Katariina Saksilainens vei i Helsinki.

Tilleggsvarme trengs under kalde perioder og kan tilføres direkte til ventilasjonsluften eller fra andre varmekilder. Når kjøling er nødvendig benytter systemet først og fremst kjølig uteluft. Det er viktig å redusere systemtapet. Deler av energien som behøves for å varme opp varmtvann kan gjenvinnes fra brukt vann (gråvann), eller ved å bruke for eksempel solenergi eller varme fra avtrekksluft. I prosjekteringsfasen anbefales det å forberede seg på morgendagens solenergiløsninger, eventuelt hvis bygningens beliggenhet er gunstig, bruk av vindkraft. Det elektriske anlegget skal prosjekteres for å minimalisere strømforbruket. Naturlig belysning skal benyttes mest mulig.



VINDUER OG BYGGETS ORIENTERING

For å oppnå best mulig varmeeffekt fra solen i fyringssesongen, bør bolighus være sørvendte, med ev. maksimalt avvik på 30°. Glassflater bør ha solskjerming i form av utstikkende tak, fasadefremspring, balkonger, markiser eller persiener. Relativt store sørvendte vinduer og små nordvendte vinduer er et godt utgangspunkt for energisparing. Nordvendte vinduer forårsaker normalt et netto energitap i løpet av et år, men vil også tilføre dagslys uten direkte solstråling. Arealet av sørvendte vinduer, glassets isolerende egenskaper og mengden termisk masse er faktorer man bør ta hensyn til ved planleggingen av en bolig. Varmetap fra vinduene om vinteren kan være større enn vinduene evne til å slippe inn tilstrekkelig solvarme for oppvarming av varmelagrene. Om sommeren kan store vindusarealer forårsake overoppheting av inneluften. Plassering og omfanget av glass er en optimaliseringsprosess hvor lysinnslipp, varmetap og solutbytte må sees i sammenheng. Valg av glasstype og solavskjerming må også tas med i vurderingen.

Romplasseringen er et viktig element i å optimalisere passiv oppvarming. Rommene som er mest i bruk bør være lokalisert på sørsiden, slik at varmebelastning fra solen kan utnyttes best mulig i den varme årstiden. Boder, entré og soverom bør plasseres på nordsiden av huset. For de fleste vindusstørrelser vil et fremspring på 0.5–1.5 m plassert på toppen av det sørvendte vinduet motvirke at solstråler kommer ovenfra i den varmeste perioden på sommeren, men likevel tillate at solen kommer inn i vinterhalvåret. Fremspring på øst- og vestvendte vegger har liten effekt.

TERMISK MASSE OG ISOLASJON

Både varmelagrende bygningsdeler og termisk isolering er viktige faktorer ved optimalisering av bygningens energieffektivitet. Den termiske massen må være plassert på innsiden av isolasjonen. Innvendige flater (malte eller ubehandlet, flislagte eller pussede) i tunge vegger, gulv og himling skal ikke tildekkes. De må være eksponert for varmeutveksling. Innendørs kledning, som gipsplater, parkett og tepper, fungerer som isolerende lag og hindrer i stor grad varmeutveksling.

VENTILASJON

På kjølige sommerkvelder, når det er kaldere ute enn inne, kan vinduene åpnes for nattlig ventilering og avkjøling av bygningen. I varme perioder må vinduene holdes lukket og ventilasjonen foregå gjennom klimaanlegget eller annen kontrollert ventilasjon. For optimal funksjon om sommeren bør rommene planlegges på en måte som muliggjør kryssventilering om natten. Har bygningen mekanisk ventilasjon, kan man trekke inn kjølig natteluft for å kjøle ned de tunge bygningsdelene.

3.2 PLANLEGGING AV NÆRINGSBYGG

Mulighetene for energibesparelse med termiske masse er størst i næringsbygg. Man kan oppnå energibesparelser i kontorbygg på 4–7 % ved oppvarming og 42–52 % (23) ved kjøling ved hjelp av passiv utnyttelse av massen /4/. Bruken av betong i kontorbygninger er en integrert del av passiv kjøling. I kontorbygg utgjør etasjeskillerne den største termiske massen. Dekkene kan virke både som aktive og passive energisparere. Best utnyttelse av betongdekkers termiske masse oppnås ved rene, eksponerte betongflater, ev. belagt med keramiske fliser. Alternative løsninger for aktiv utnyttelse av betongdekker er beskrevet i avsnitt 2.4

OPPVARMING OG KJØLING

I kontor- og forretningsbygg kan behovet for kjøling være større enn behovet for oppvarming på grunn av belysning, maskiner og personer som alle bidrar til stor indre varmebelastning. Derfor er det avgjørende at den termiske massen fungerer bra om sommeren. Utnyttelsen av passiv solenergi kan begrenses til kontorpersonalets ordinære arbeidstider. Kald natteluft må nyttiggjøres i størst mulig grad, men underkjøling må unngås da det kan resultere i at innetemperaturen blir for lav om morgenen og i verste fall fører til behov for oppvarming. Naturlig ventilasjon bør vurderes, slik at energiforbruket fra vifter blir minst mulig. Norske undersøkelser viser at kontorbygg med mekanisk kjøling bruker rundt 20 % mer energi enn bygninger uten. Passiv kjøling av kontorbygg kan derfor være svært lønnsomt.

4. FRA LAVENERGIBYGNINGER TIL PASSIVE- OG NULLENERGIBYGNINGER

4.1 UTVIKLINGSTRINN

Det beregnede energibehovet fra lavenergibygninger er 40–70 kWh/m², mens det totale energiforbruket i tradisjonelle hus ligger på 90–180 kWh/m². Siden oppvarmingsbehovet er lavt i en lavenergibygning, kan oppvarmingssystemet forenkles. Det er minimalt med trekk fra vinduer i en lavenergibygning fordi overflatetemperatur på vinduene er svært nær romtemperaturen. Det er derfor ikke behov for varmeovner under vinduene. Som tidligere nevnt vil betong i en lavenergibygning fungere som et varmereservoar og jevne ut svingninger i innetemperaturen på varme sommerdager. Det er utviklet betongelementløsninger for bruk i passivhus. Passivhus i et norsk klima defineres ut fra nødvendig varmebehov for den klimasonen huset befinner seg i.

ET PASSIVHUS BRUKER LITE ENERGI

For passivhus stilles det strenge krav til lavt oppvarmings- og kjølebehov i tillegg til tetthet. Betongens mange positive egenskaper kan bidra til å oppfylle nettopp disse kravene.

ENERGIFORSKRIFTER AV 2015

I 2015 kommer energiforskriftene til å bli strammet inn med rundt 20 % i forhold til dagens forskrifter og i 2020 settes trolig krav til passivhusnivå. I de nye forskriftene /22/ blir grenseverdier for netto energibehov gitt ut fra bygningskategori. Beregningene gjøres i henhold til prinsippene i NS 3031

PASSIVHUSLØSNINGER



T-Box er det første typehus i betongelementer som oppfyller passivhuskravene.

5. BETONG OG KLIMAGASSUTSLIPP (CO₂)

Med utvikling av mer energieffektive bygg reduseres energibehovet i en bruks- og driftsfase. Dette har ført til et økt fokus på energiforbruket forbundet med produksjonen av materialer og produkter til byggene, og dermed også klimagassutslipp for denne fasen av byggets livsløp. Det har også blitt mer vanlig å gjennomføre klimagassvurderinger for bygg og byggeprosjekter og sette mål for reduserte klimagassutslipp i byggeprosjekter. Statsbygg har utviklet www.klimagassregnskap.no, som er en webbasert modell for klimagassberegninger, og som muliggjør en beregning av byggets klimaspor eller karbonfotavtrykk i et livsløp.

Ved miljøklassifisering av bygg gis det blant annet poeng for klimagassberegninger. Én utfordring for beregninger av klima- og livsløpsanalyser er tilgangen på miljødata samt datakvaliteten (måling, beregning, estimat). En viktig kilde til korrekt og representative miljødata er miljødeklarasjoner (EPD, Environmental Product Declaration). En miljødeklarasjon er et dokument som oppsummerer miljøprofilen til en komponent, et ferdig produkt eller en tjeneste på en standardisert og objektiv måte (www.epd-norge.no). En EPD er utarbeidet basert på internasjonale standarder, og bygger på livsløpsvurderinger av miljødata fra uttak av råmaterialer, produksjon, driftsfase og avhending.

Betongelementforeningen har sammen med Østfoldforskning utviklet et verktøy for generering av EPD'er av betongelementer. EPD generatoren har blitt verifisert og godkjent for en 3 årsperiode av EPD-Norge, fra 2012 til 2015. Verktøyet er tatt i bruk av en rekke av foreningens medlemmer, og flere av EPDene er tilgjengelig via www.epd-norge.no. Klimagasser er en samlebetegnelse for gasser som bidrar til drivhus-effekten, og det fokuseres gjerne på karbondioksid (CO₂).

SEMENTPRODUKSJONEN

Betong er verdens mest benyttede byggemateriale der sement er en av hovedbestanddelene. Sementens andel av CO₂-utslipp i produksjonen av betongkonstruksjoner er betydelig. Av de totale utslipp fra en betongleveranse er normalt 60 - 80 % av utslippene forårsaket av sementen. CO₂-utslippet fra sementproduksjonen stammer fra to hovedkilder: spalting av kalkstein og fra brenselet. Den kjemiske prosessen der kalkstein spaltes kan ikke endres, men ved bruk av alternative brensel og råmaterialer kan utslippet reduseres. Ved å benytte brensel med høy andel av klimanøytral biomasse i produksjonsprosessen, kan utslippet reduseres betraktelig. Blandes flygeaske eller slagge fra smelteverkindustrien inn i sementen, reduseres sementandelen og dermed CO₂-utslippet fra den ferdige betongen.

I Norge ligger CO₂-utslippet fra standard portland sement mellom 613 - 1050 kg per tonn avhengig av sementtype, produsent og deklarerert enhet i miljødeklarasjonene. (www.epd-norge.no) Brorparten av sementen på det norske markedet i dag er imidlertid såkalte blandingssementer der inntil 35 % av sementklinkeren er erstattet med flygeaske. CO₂-avtrykket kan da reduseres til et nivå fra 490 til 620 kg CO₂/ tonn sement.

BETONGPRODUKSJON – TILSETNINGER

Lavkarbon- eller miljøbetong har blitt introdusert i det norske markedet de seneste årene. I denne betongen reduseres CO₂-utslippene ytterligere ved å øke andel flygeaske eller tilføre andre tilsetninger under betongproduksjonen.

CO₂-OPPTAK- KARBONATISERING

Over tid reverserer kalsineringsreaksjonen. I Norge ble det beregnet at nærmere 220 000 tonn CO₂ vil bli tatt opp i betongen i løpet av en levetid på 70 år og en gjenbruksfase på 30 år /6/. Gjenbruksfasen forutsetter at betongen knuses. Dette tilsvarer 24 % av det årlige utslippet fra kalsineringsprosessen eller 16 % av det årlige totale utslippet ved sementproduksjonen i Norge (basert på 2003 tall). Per i dag tas det ikke høyde for CO₂-opptak i livsløpsvurderinger eller utarbeidelse av EPD. I regi av Miljøkomiteen v/ Norsk Betongforening er det igangsatt et FoU-prosjekt i 2013, i samarbeid med en rekke bedriftspartnere. Prosjektets hovedmålsetning er å se nærmere på muligheten og potensialet for å inkludere fratrekk for CO₂-opptak i LCA/EPDer for betongprodukter og konstruksjonsdeler (www.miplan.no).

BETONGENS MILJØBELASTNING I ET LIVSLØPSPERSPEKTIV

Mengde og type sement, produksjonsmetode, armeringsmengde samt transport og råmaterialer brukt gjør at betong og betongkonstruksjoner har en betydelig innvirkning på andelen av CO₂-utslippet i en bygning i produksjonsfasen. Andel CO₂-utslipp som skyldes armeringen i betongen er vanligvis på rundt 10 - 25 %, og andelen elektrisitet og varmeenergi varierer mellom 5 - 20 %. Produksjon av betong i seg selv krever ikke mye energi. Ved vurdering av et materiales klima- og miljøegenskaper er det viktig å ta hele livsløpet med i beregningen. Dette innebærer at i et klimagassregnskap for bygg, må også betongens termiske egenskaper og dermed påvirkning på redusert energibehov – og dermed klimagassutslipp, medtas.

Lounamaa /20/ har analysert betongelementenes miljøbelastning i kontorbygg eller boligblokker i løpet av elementenes livssyklus. På et nåtidsnivå for byggets totale energiforbruk og utslipp, vurdert over 50 års levetid var CO₂ utslippene for produksjonsfasen av bygget 12 % for kontorbygg og 10 % for boligblokken. De tilsvarende verdiene for bygningene i bruksfasen var på 84 % og 87 %. Det beregnede CO₂-utslippet fra produksjonen av betongelementer i den samlede livssyklusen tilsvarte 2,9 % for kontorbygg og 4,0 % for boligblokker. Dette viser viktigheten av å betrakte en bygningens totale livsløp i en miljøbelastningsanalyse, ikke bare i produksjonsfasen.

Betongelementkonstruksjonenes andel av bygningens CO₂ utslipp gjennom en hel livssyklus er i dag relativt liten, den ligger på rundt 3 - 5 %. Når nye energikrav til bygninger etter hvert introduseres, vil nok denne andelen stige. På den annen side vil nye sementtyper, produksjonsteknologier og konstruksjonsløsninger i fremtiden generere mindre utslipp enn nåtidens, og dermed redusere utslippene fra betong i produksjonsfasen. Betongelementbaserte bygg er vanligvis relativt lette konstruksjoner der bruk av hulldekker bidrar til å redusere betongforbruket. Slanke konstruksjoner, der man utnytter betongen optimalt ved å forspenne bygningselementene bidrar til redusert betongbruk.

KONKLUSJON

Produksjon av betongkonstruksjoner forårsaker CO₂ utslipp, men til gjengjeld har betongen en positiv innvirkning på energiforbruket i bygningens bruksfase og derfor også på CO₂ utslippene. Industrien har de senere årene utviklet og tatt i bruk nye teknologier som bidrar til betong med lavere klimagassutslipp i produksjonen. Utnyttelse av termisk masse vil ha en positiv påvirkning energiforbruket i driftsfasen, og dermed kunne bidra til reduserte klimagassutslipp i en bruks- og driftsfase. En vurdering av materialer og produkter i et livsløpsperspektiv (LCA) er viktig for å få frem det korrekte og helhetlig bilde av miljøpåvirkningen. Korrekte og representative miljødata, som f.eks. EPDer, er sentrale i slike vurderinger.

6. PROSJEKTEKSEMPLER

6.1 NORGE

6.1.1 SPAREBANKEN 1 SMN - HOVEDKVARTER

Arkitekt: Agraff AS

Rådgivere: Myklebust AS (RIB), COWI AS (RIV), COWI AS (RIE) og NTNU (lys+energiberegninger)

Hovedentreprenør: Teknobygg AS

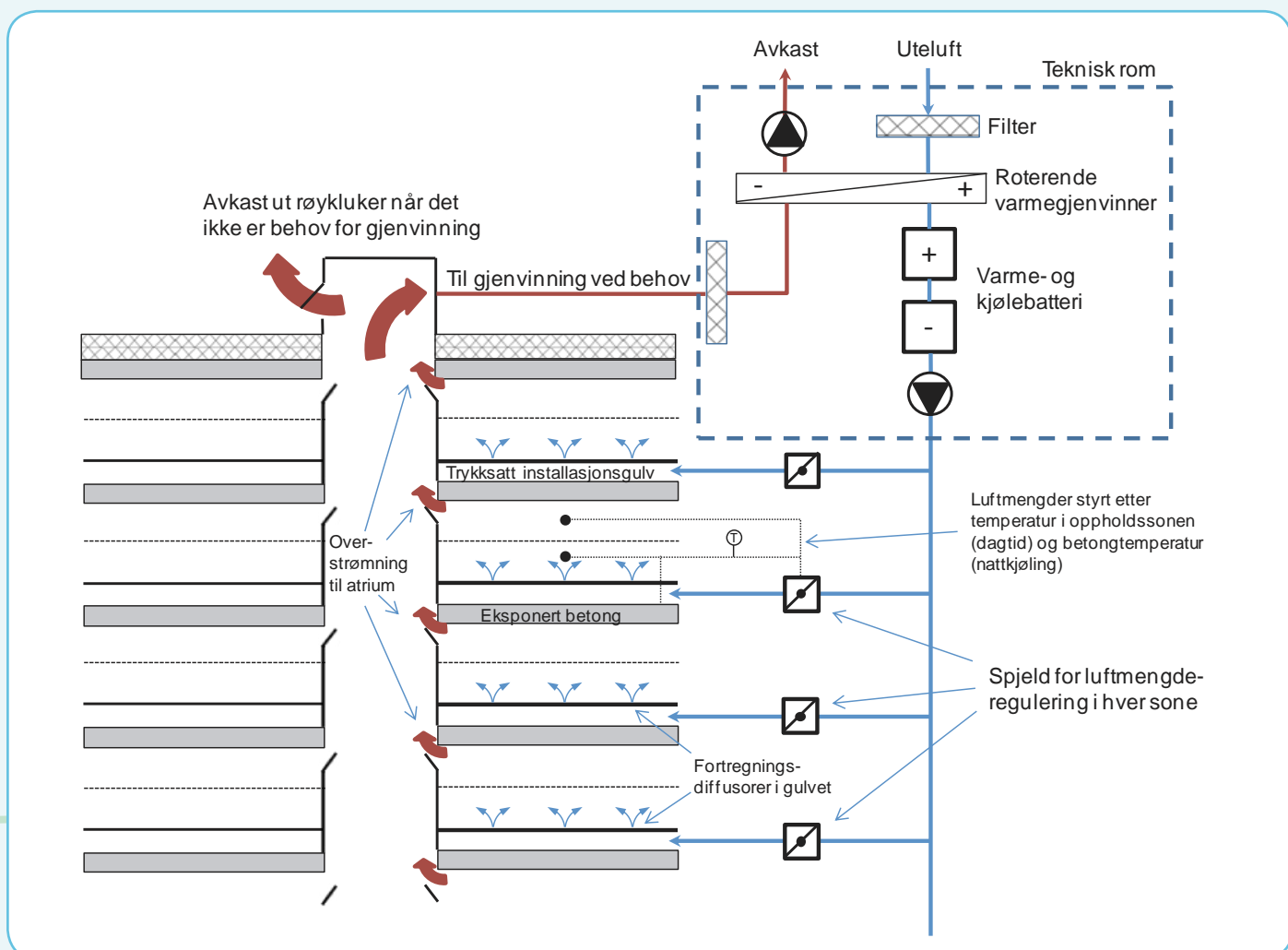
Netto energibehov: 100 kWh/m²/år (NS3031)

Beregnet levert energi: 83 kWh/m²/år (NS3031)

Målt energiforbruk: 66 kWh/m²/år

Helt fra utlysning av arkitektkonkurransen vektla byggherren at Sparebank 1 SMN sitt nye hovedkvarter i Trondheim skulle være miljøvennlig og et fremtidsrettet bygg for sine ansatte og for byens innbyggere. Arkitekt og de prosjekterende ble oppfordret til å tenke nytt og innovativt for å nå målsetningene for energibehov og inneklima.

Hele byggeprosjektet var tuftet på et helhetlig energikonsept, basert på en tverrfaglig tenkning hvor alle aspektene ved energi ble sett i sammenheng. I utgangspunktet er bygget utført etter helt ordinære byggemetoder, men med fokus på detaljer og elementer som påvirker bygningers energibehov. De store linjene dreier seg om å tilstrebe en kompakt bygningsform, godt isolert og tett bygningskropp, utnyttelse av dagslys dypt inn i bygningen via glassgårder på tvers av bygget og energieffektive lyskilder med styring på tilstedeværelse, dagslysnivå og tid på døgnet. Ventilasjonsaggregatene har lav SFP og utstyrt med effektive roterende varmegjennvinnere. Sammen med lavemitterende bygningsmaterialer som reduserer behovet for ventilasjonsluft gir dette et lavt energibehov til drift av ventilasjonsanleggene.



Alt dette er gode og velkjente prinsipper for lavenergibygg. Det som i første rekke skiller Sparebankkvartalet fra andre lavenergibygg, er valget av ventilasjonsteknisk løsning og den aktive utnyttelsen av termisk masse. Ventilasjonsprinsippet er fortrekningsventilasjon via et oppført datagulv. Ideen til denne løsningen sprang opprinnelig ut fra byggherrens ønske om å tilstrebe et fleksibelt kontorbygg hvor man skulle kunne flytte fritt rundt på arbeidsplassene. En løsning med datagulv der tekniske føringer lett skulle kunne flyttes var derfor påkrevet. Dette hulrommet kunne samtidig utnyttes som distribusjonsvei for ventilasjonsluft. Prinsippet med å utnytte hulrommet mellom datagulvet og etasjeskilleren som et plenumsrom for tilluft, eller "Under Floor Air Distribution" (UFAD), er velprøvd i Europa og USA, men var ikke utprøvd i større skala i Norge tidligere.



Sparebanken 1 SMN - hovedkvarter

Løsningen gir et ventilasjonssystem med svært lavt trykkfall siden kanalsystemet nærmest blir eliminert. Termisk masse utnyttes "fra begge" sider. For det første eksponeres himlingen direkte mot brukerne av bygget. Videre kan hulrommet under datagulvet kjøles ned med kjølig natteluft, og den opplagrede "kjøleenergi" tilbakeføres til ventilasjonsluften på dagtid. Behovet for mekanisk kjøling blir således sterkt redusert og tilnærmet eliminert. Et tredje poeng med denne løsningen er at betongen virker som en ekstra varmegjenvinner. Varme som er absorbert gjennom dagen vil trekke inn i betongen og overføres til ventilasjonsluften i etasjen over. Dette gir store besparelser i energi til ventilasjonsoppvarming.

Målinger gjennom de første driftsårene viser at bygget overoppfyller målene på energi. I 2011 og 2012 brukte den nye kontordelen totalt i snitt ca. 70 kWh/m² per år, og er med det bygget i Norge med lavest dokumenterte energiforbruk.

6.1.2 T-BOX PASSIVHUS

Arkitekt: RAMBØLL AS

Størrelse: BRA 117m² fordelt på 2 etasjer, 81 m² bebygd areal.

Materialer: Sandwichelementer og hulldekker.

For mer info: www.tbox.no

BYGNINGSKROPPEN, VARME OG VENTILASJON

Fasadene består av Sandwichelementer (SW) med en kjerne av 250 mm PIR isolasjon, etasjeskillene er utført med hulldekkeelementer (HD), dekkene og veggene består av eksponert betong, gulvene kan ha belegget eller parkett. Tak og vegger kan være malte. Den termiske massen i veggene og himlingen bidrar betydelig til klimatiseringen av bygget. Ventilasjons og varmesystemet er skjult i et teknisk rom, alle føringer går via nedsenket tak i gangen i første og andre etasje. Føringene er korte og med så få bend som mulig, i tillegg skal lufthastigheten være lavest mulig for å øke virkningsgraden for aggregatet. Varmegjenvinningsgraden er på minimum 80% (årsmiddelverdi) og tilfredsstiller kravet til minimumsluftmengder etter TEK 10. I tillegg er anlegget planlagt slik at det ikke begrenser senere endringer i romprogrammet.

T-box passivhus kan ha

1. Fjernvarme- eller nærvarmenett.
2. Egen energiforsyning.
3. Luft-til-vann varmepumpe (varme fra uteluften).
4. Vann-til-vann varmepumpe, varme fra jord/berggrunn/vann.
5. Solfangeranlegg.

Alle løsninger forutsetter vannbåren varme, der deler av energibehovet til varmt forbruksvann dekkes av fornybare kilder. T-box passivhus her gulvvarme i stue, inngangsparti og badrom, soverommene har ikke gulvvarme. Siden soverommene skal kunne benyttes til kontor, lekerom o.a er det nødvendig å tilføre varme, dette gjøres ved bruk av radiatorer.

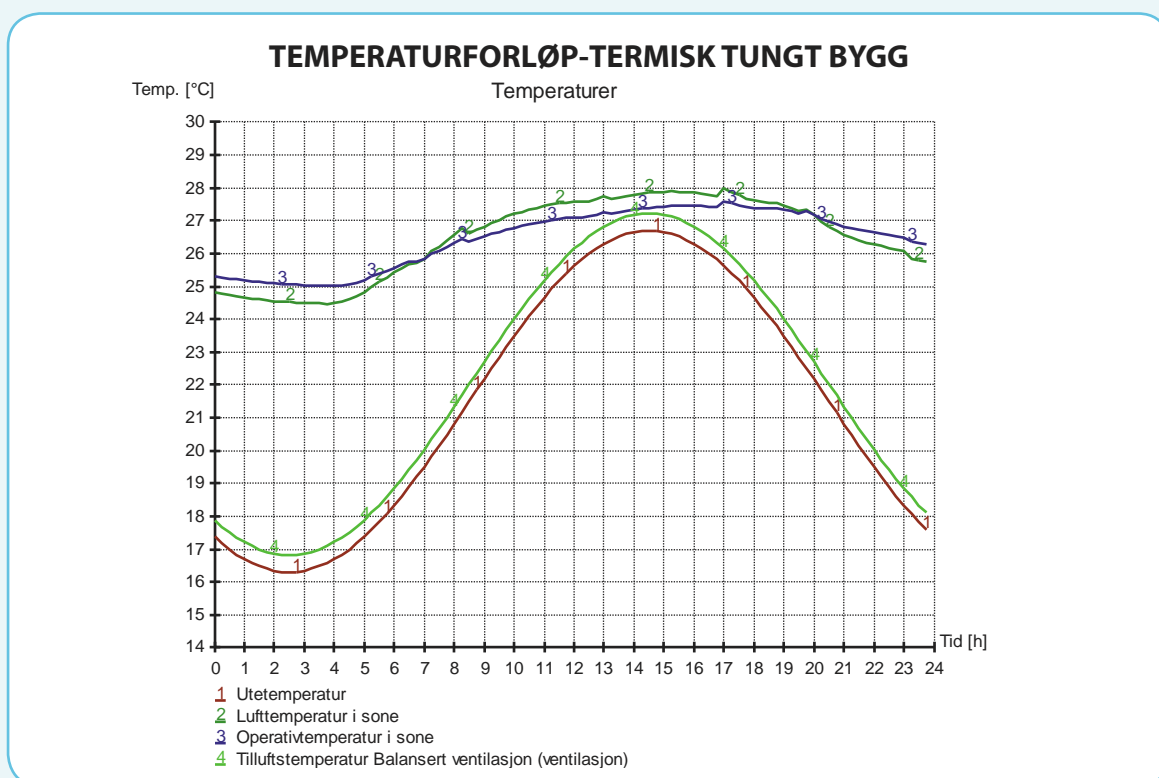
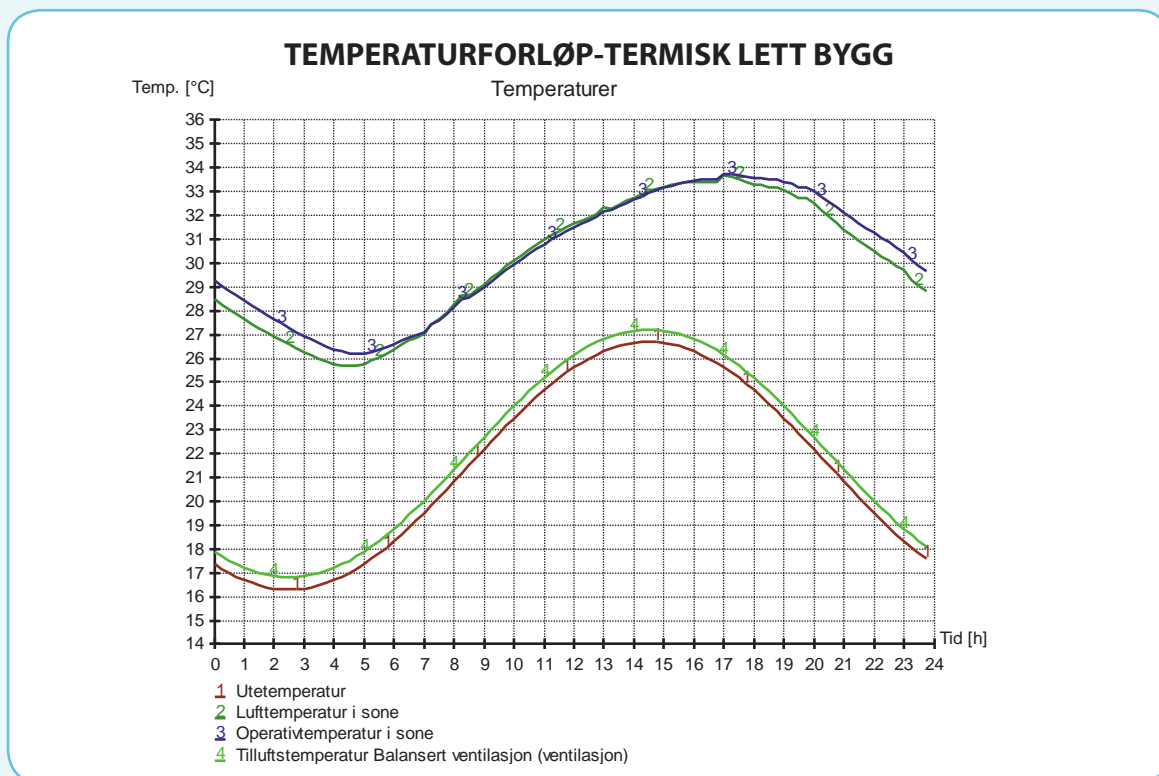
Energibudsjett

Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	2342 kWh	18,3 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	362 kWh	2,8 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	3811 kWh	29,8 kWh/m ²
3a Vifter	594 kWh	4,6 kWh/m ²
3b Pumper	116 kWh	0,9 kWh/m ²
4 Belysning	1457 kWh	11,4 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	2243 kWh	17,5 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	10924 kWh	85,3 kWh/m ²

HVORDAN ER DEN TERMISKE MASSEN I BETONGELEMENTENE UTNYTTET?

Bygget har ingen radiatorer ut over de som er montert i soverommene, og all oppvarming skjer ved vannbåren varme i dekkene. Innluften passerer en varmeveksler med høy virkningsgrad og med lav lufthastighet. Dette gir i sum en energieffektiv teknisk løsning. Etasjeskiller og takkonstruksjon bæres av fasadene, dette innebærer at beboer har stor frihet til å endre romprogrammet etter behov. Veggene ut mot klimaskallet er eksponert betong med en tykkelse på 150 mm, tak og dekker er utført med HD elementer der himlingen er eksponert. I sum bidrar dette til at vegger og dekker kan brukes til magasinering av energi, dermed blir ikke temperatursvingningene like store som for tilsvarende passivhus i lette materialer.

På varme sommerdager kan passivhus oppleves som varme, en simulering av T-box i lette materialer viser at den maksimale innnetemperaturen på en varm sommerdag kan komme opp i 33,5 °C ved en utetemperatur på 26 °C, I T-box med eksponert himling i HD elementer og SW elementer med 150 mm (bærende) innerpanel av betong vil maksimal operativ temperatur ligge på 27,5 °C grader ved en maksimal utetemperatur på 26 °C.



Bygget er godt isolert og veldig tett, målinger i T-box (ikke passivhusstandard) der det ikke er gjennomført særlige tiltak for å oppnå særlig tetthet viser en lufttetthet på $n_{50} = 0,7$ luftskiftninger pr time. Dette innebærer at det ikke er spesielt utfordrende å oppnå kravet på $n_{50} = 0,6$ luftskiftninger pr time for T-box passivhus. Den eksponerte betongen i dekkene og veggene gir en svært stor relative andel termisk masse i T-box passivhus, dette bidrar til at bygget får en veldig jevn temperatur selv om utetemperaturen kan variere mye gjennom døgnet.

6.1.3 BOLIG I SVOLVÆR, LOFOTEN

Arkitekt: Byggherre (Ove-H Lorentzen / Anne Berntsen)

Størrelse: BRA 240m² fordelt på tre etasjer

Materialer: Sandwichelementer og plattendecker

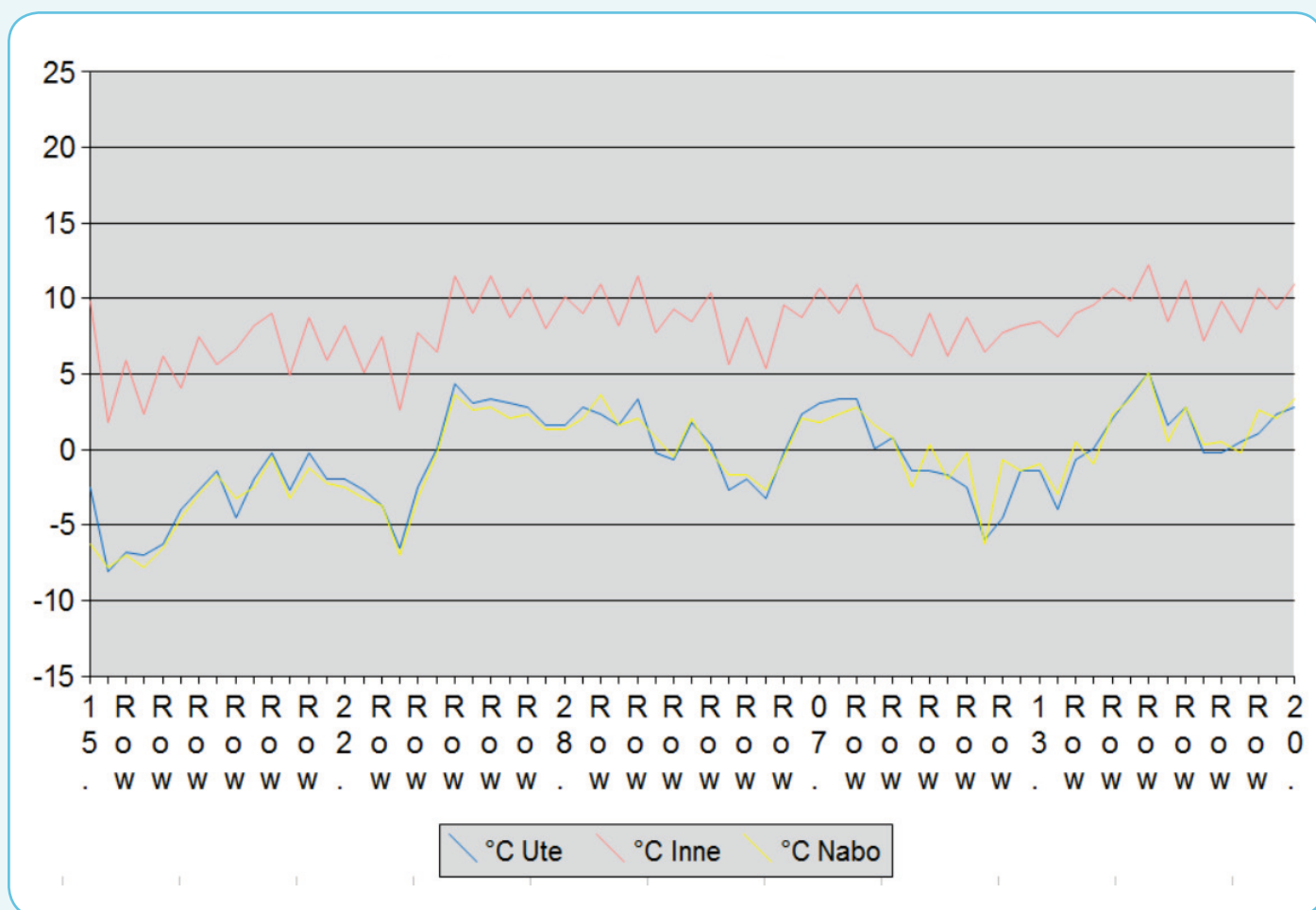
Konsept: Fullskala FoU bolighus i 100% betong

FoU aktører: FoU ansvarlig Norut Narvik AS, boligen inngår i prosjektet ColdTech (Forskningsrådet).

Forprosjektet ble utført gjennom VRI prosjekt Norut Narvik / Nordland fylkeskommune

BYGNINGSKROPPEN, VARME OG VENTILASJON

Fasadene består av Sandwichelementer (SW) med en kjerne av EPS isolasjon, etasjeskillene er utført med plattendecker. Dekkene og veggene består av eksponert betong, gulvene er lagt med flis. Himling og vegger er malt slik at mest mulig av den termiske massen er eksponert. Det er installert varmesløyfer i yttertak og yttersjiktet i fasadene av betong for å fange solenergi. Ventilasjonsluften forvarmes ved at inntaket er ført inn over en relativt lang strekning i betongdekket, det tilføres ikke varme i ventilasjonsaggregatet.



Dekke med termisk regulering av innluft. Det er installert sensorer på flere steder i bygget, målte data logges på ekstern server og er tilgjengelig på internett. Overskuddsvarme fra gulv i solsonen distribueres til skyggesoner. Den termiske massen i veggene og himlingen bidrar betydelig til klimatiseringen av bygget, den målte variasjonen over døgnet er i gjennomsnitt 0,2 grader på grunn av den relativt store andelen termisk masse som er aktivert.

HVORDAN ER DEN TERMISKE MASSEN I BETONGELEMENTENE UTNYTTET

Norut Narvik AS hadde målt trebygg ned n50 ned mot 1,5 luftutskiftninger pr time, i dette referansebygget er n50 bedre enn 0,5 luftutskiftninger pr time. FoU prosjektet har dokumentert at bygget kan generere energi fra varmesløyvene i den ytre delen av Sandwichveggen (det ytre panelet, utenfor klimaskallet). Dette skjer ved å utnytte solvarmen som absorberes av fasaden, varmeenergien transporteres via varmesløyvene til et energimagasin. Instrumenteringen fra Norut Narvik dokumenterer innstrålt solenergi og temperatur i fasaden løpende, resultater tilsier at man kan oppnå Passivhus og "plusshus" ved å bygge i betong og relativt enkle tekniske løsninger for å utnytte solenergien. Det viser seg og at det er en fordel å bygge langt mot nord, bygget i Svolvær får solvarme fra ca 6. januar til 12 desember. I vintersesongen benyttes eksisterende løsning med varmepumpe og tilleggsvarme fra vedfyring når temperaturen synker under -15 °C.

Fra mars til mai er temperaturen ofte rundt 0 °C og med en lav og blek vintersol. Den lave solvinkelen i nord gir gode forhold for å hente ut energi fra solinnstrålingen mot fasadene. I midten av mars tilfører solenergi fasaden energi nok til å løfte temperaturen opp mot 30 °C grader sammenlignet med lufttemperaturen.

Ventilasjonsluft forvarmes vanligvis ved ett elektrisk varmebatteri eller ved ett batteri med varmt vann, begge alternativer krever normalt tilførsel av energi. FoU forsøket går ut på å tilføre energi over 20 ganger større areal og under lavere temperatur ved å føre inntakskanaler gjennom etasjeskille mellom teknisk rom og gulv i soverom. Norut Narvik har dokumentert effekten av dette ved instrumentering av inntakskanaler til ventilasjonsaggregatet. Energien som tilføres innluften bidrar til å holde temperaturen nede i teknisk rom og i soverom i etasjen over. Betongdekket har vannbåren varme slik at temperatur rundt ventilasjonskanaler kan reguleres. I tillegg har dekket innstøpt en kjølesløyfe hvis man skulle ha behov for å redusere temperatur i betongen.

FoU prosjektet løper frem til 2015, men har allerede god dokumentasjon på at man kan hente ut opp mot 1000 kWh pr kvadratmeter fasade gjennom året. Man kan altså utnytte den termiske massen utenfor klimaskallet og ikke bare til å klimatisere byggets innenfor klimaskallet. Vi kan altså bygge betongbygg som i perioder produsere overskuddsenergi, på den måten vil betongelementbygg bidra enda mer til redusert energikonsum til drift av bygg.



Dekket klargjort med ventilasjonskanaler før innstøping i betong.

6.2 ANDRE LAND

6.2.1 EKSEMPEL PÅ THERMODECK SYSTEMET, BOLIGBLOKK "LÄRKTRÄDET", SVERIGE,

Arkitekt: Vara Byggkonsult AB

Hovedentreprenør: Tommy Byggare AB

Underentreprenør betongelementer inkl TermoDeck: AB Strängbetong

Størrelse: 860 m² fordelt på 16 leiligheter, 1070 m² hulldekke.

BYGNINGSKROPPEN, VARME OG VENTILASJON

Fasadene består av Sandwichelementer (SW) med en kjerne av 250 mm EPS isolasjon, etasjeskillene er utført med hulldekkeelementer (HD) som er tilpasset spesielt for ventilasjon, oppvarming og kjøling av bygget etter TermoDeck prinsippet. Oppvarmingen skjer ved bruk av en varmepumpe på 8,4 kW som står for 95% av oppvarmingen av bygget. I tillegg er det installert et varmeaggregat på 10kW som back-up og for å ta toppene i de kaldeste periodene. Solfangere dekker 50% av energibehovet for varmtvann.

HVORDAN ER DEN TERMISKE MASSEN I BETONGELEMENTENE UTNYTTET

Bygget har ingen radiatorer eller lokale varmekilder i leilighetene, all oppvarming skjer ved tilførsel av varmluft. Kanalene i hulldekkene brukes til ventilering av bygget, dermed vil varmluften som kommer ut i rommene aldri ha høyere temperatur enn 24-24 °C. Varmluften passerer gjennom hulldekkene etter TermoDeck prinsippet, der en del av varmeenergien tas opp og magasineres i dekket slik at man ikke risikerer overoppheting eller store temperatursvingninger i rommene. I tillegg er fordelingen av varmen i rommene mer optimal siden gulvene er en del av klimatiseringssystemet i tillegg til den oppvarmede luften, gulvet føles aldri kaldt.

På varme dager er det alltid en risiko for at rommene blir overopphetet, i bygg der den termiske massen aktiveres etter TermoDeck prinsippet kjøles dekkene om natten slik at de kan absorbere overskuddsvarmen om dagen. I boligblokken "Lärkträdet" tar man inn luft ned mot 13 °C (utetemperatur) og distribuerer den kjølige luften i dekkene slik at de blir tilstrekkelig nedkjølt i løpet av natten.

Bygget er godt isolert og veldig tett, dette i kombinasjon med den eksponerte betongen i dekkene og veggene som gir en svært stor andel termisk masse, gjør at bygget får en veldig jevn temperatur selv om utetemperaturen kan variere mye gjennom døgnet. I vårt naboland Sverige får man uttelling for dette ved at dimensjonerende utetemperatur kan reduseres fra -18 °C til -10 °C, dermed kan man installere varmekilder med lavere ytelse enn i tilsvarende bygg der den termiske massen ikke er aktivert eller der bygget er ført opp i lette materialer.

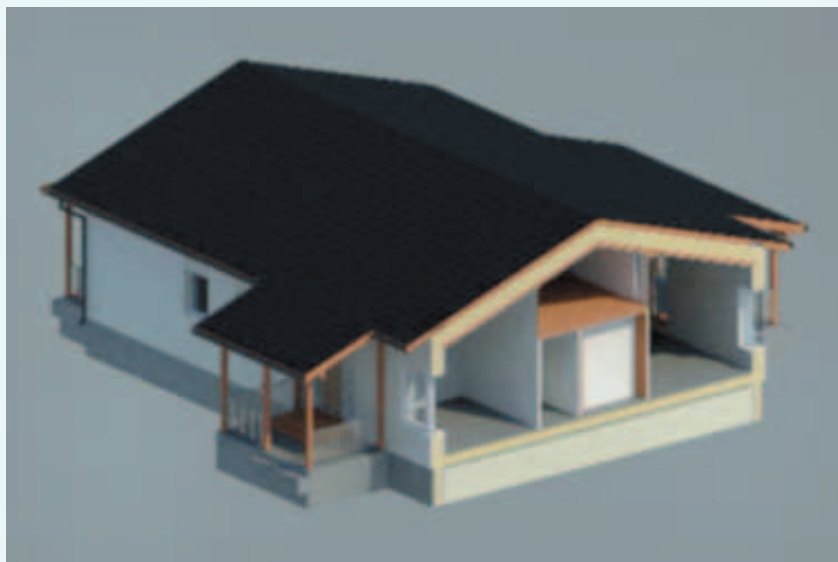


6.2.2 LAVENERGI BOLIGHUS MERA, HEINOLA, FINLAND

REKORDTETTE BETONGELEMENHUS

Rakennusliike Reponen har utviklet sitt eget MeraReponen lavenergi boligblokkkonsept. Den første boligblokken av denne typen sto ferdig i Heinola i april 2009.

Suutarinen Yhtiöt har lansert et energibesparende passivhus i betongelementer. Det første huset ble bygget i Mäntyharju. Ytterveggen på huset består av sandwichelementer med isolasjonssjikt av 250mm polyuretan. Veggens U-verdi er mindre enn 0.1.



Et tett passivhus laget av betongelementer (luftlekkasje verdi målt av VTT n50= 0.09). Bilde: Suutarinen-Yhtiöt.

Takkonstruksjonen er laget av Passiivikatto (passivtak) paneler utviklet av SPU-Systems Oy, fabrikkmontert ved bruk av LVL og polyuretanplater. VTT har målt husets tetthet og n50 luftlekkasje verdi var 0,09 1 / t. (Maksimalt tillatte luftlekkasjetall for passivhus er 0,6.) " Dette er Finlands tettteste og, for alt vi vet, den tettteste bygningen i verden " sier VTT forsker Antti Nikkanen. Den gode tettheten er oppnådd gjennom god planlegging og nøye implementering. Polyuretan-isoleringen går udelt fra taket til veggen og videre fra veggen til gulvet. Gjennomføringer i ytterveggen er holdt på et minimum. Luftekanaler og elektriske anlegg er installerte i egen sone i taket, inne i varmeisolasjonen. Bygningens lave forbruk av oppvarmingsenergi skyldes god isolasjonen i ytterveggene, utnyttelse av den termiske massen i vegger og gulv, så godt som ingen luftlekkasjer og tilstrekkelig varmelagringskapasitet. Solfangere benyttes for varmtvannsproduksjon.

6.2.3 BIBLIOTEKET VED DRESDEN HIGH SCHOOL FOR TECHNOLOGY AND BUSINESS, TYSKLAND

Arkitekt: ReimarHerbst Architekten

Byggherre: Freistaat Sachsen

Bruksareal/gulvareal: 2189 m²



I biblioteket ved Dresden High School for Technology and Business, har man for eksempel aktiverte betongkjerner blitt brukt som en energiløsning. Bilde: Lothar Sprenger.

Biblioteket er i fire etasjer og ble bygget i 2004-2006. Bygningen har flatt tak i betong og gjennomfargede påhengsfasader. Etasjeskillerne er plattendekker og alle lese- og arbeidsområder ligger ved fasadene som vender bort fra solen og på atriumsidene. Radene med leseplasser, som i praksis går over to etasjer, gir utsikt ut over den grønne hagen så vel som seminarbygget. Det innelukkede atriet muliggjør vindusventilasjon i nesten alle deler av bygningen. Målet var at ventilasjonsanlegg skulle elimineres ved å nytte seg av materialenes iboende egenskaper.

Planløsninger ble utarbeidet for å skape et innovativt inneluftskonsept. Atriets skorsteinseffekt gir muligheter for kryssventilasjon. Atriet beskyttes fra direkte sollys gjennom styrte lamellplater i takhøyde. Lamellene beveger seg automatisk med solen fra normal vertikal stilling til horisontal stilling. Dette gir beskyttelse mot sollys og stråling. Lamellplatene er mørke på den siden som vender mot himmelen og lyse på siden vendt mot atriet. At lamellene er mørke på oversiden gjør at de raskere varmes opp av solstrålene og således øker hastigheten på avtrekksluften fra atriet og bidrar til atriets "skorsteinseffekt". Den lyse undersiden optimaliserer dagslyseffekten i atriet. De lave vinduene gir beskyttelse fra sollys og varmestråling.

De lave vinduene gir beskyttelse fra sollys og varmestråling. Vekslingen mellom solbeskyttende ventilasjonsluker i glass og kombinasjonen av naturstein og isolerglass sørger for optimal utnyttelse av dagslyset og beskyttelse fra direkte lys. Regulerbar vindusventilasjon sikrer naturlig ventilasjon uavhengig av temperatur. Vinduene åpnes automatisk i grupper avhengig av romtemperatur og luftfuktighet. Indre vegger, gulv og tak er eksponert slik at de kan lagre varme relativt raskt og over lengre perioder. Rør med sirkulerende vann er innstøpt i etasjeskillerne. Disse absorberer varme fra vegger, gulv og tak. Betongens termiske treghet gjør at absorbert varme senere tilbakeføres til rommene og bidrar til å holde en jevnere temperatur i bygningen. Byggets årlige behov for oppvarming er 56.6 kWh/m².

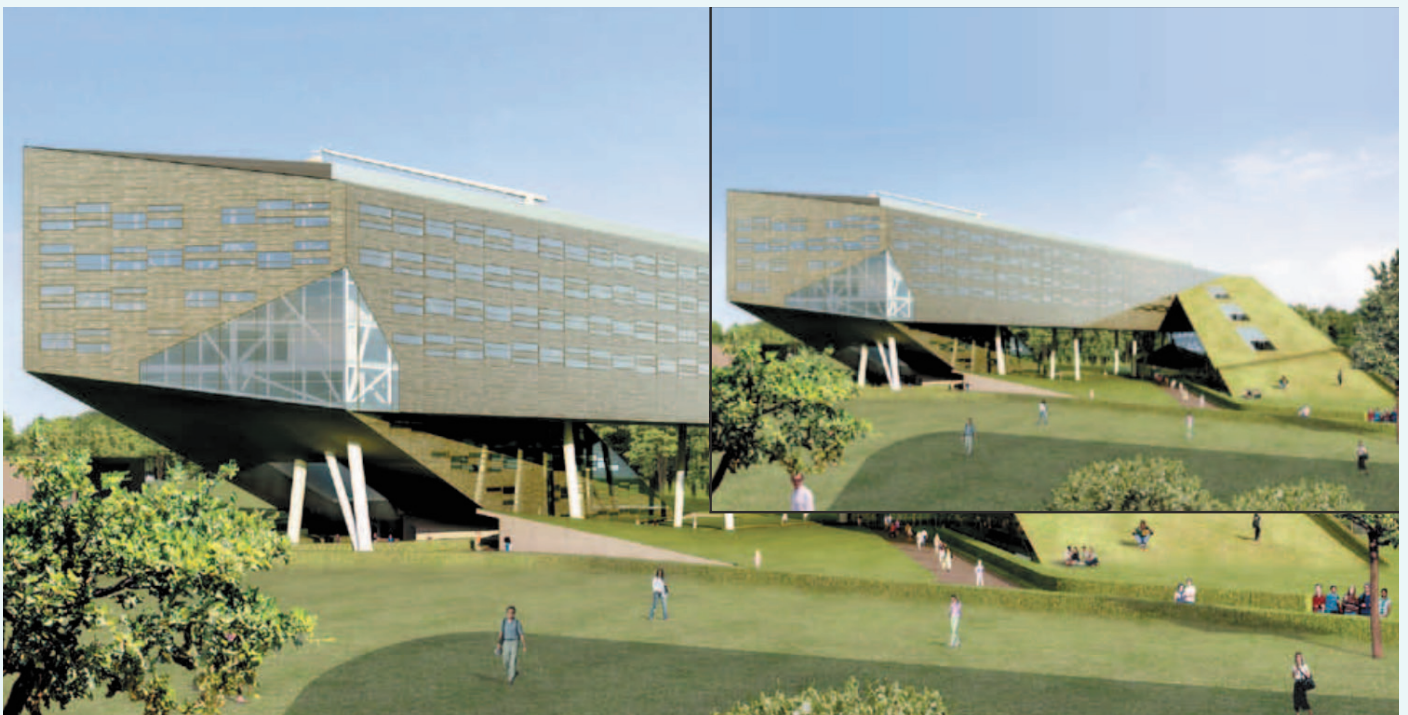
6.2.4 VBI ECOPREFAB SYSTEM I ET NYBYGG VED GRONINGEN UNIVERSITET, NEDERLAND

Bruksflate: 4554 m² (skolebygning)

Gulvflate: 1598 m² (flerbrukshall)

Et nietasjes betongelementbygg ved universitetet i Groningen ble oppført i 2009 der man benyttet et såkalt VBI EcoPrefab-konsept for avkjøling og oppvarming. Systemet er utviklet av selskapet Dutch Consolis Group VBI. Bygget har et totalareal på 34000 m² og huser kontorer, forelesningssaler, laboratorier og flere forskningslokaler. Bygget er tilknyttet et energimasselager i nærområdet.

Man har integrert rørnett og instalasjoner i betongdekkene. Avkjøling og oppvarming i VBI ventilasjonsgulv gjøres via en varmepumpe som henter varme eller kulde inn fra de omkringliggende jordmassene. Dekkene virker derfor både som varme- og kjøleelement. VBI hevder at energikostnadene for bygninger bygget med et slikt system er over 60 % lavere enn ved tradisjonelle systemer.



Groningen Universitet bruker nærområdes termiske energilagringmuligheter for avkjøling, så vel som VBIs nye konstruksjonssystem med integrert avkjølings- og oppvarmingssystem for prefabrickerte elementer.

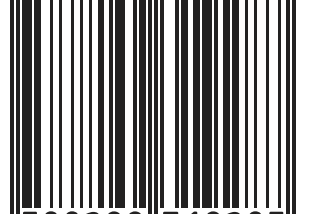
REFERANSER

- /a/ Finsk Betongelementforening. Entire_Kivitalon_energiatehokkuus-esite,
/b/ BetonMarketing Deutschland. Energieeffizienz im Hochbau
- /1/ Hietamäki T et al. Rakennusten massiivisuus. Keskeiset tutkimukset ja tulokset. Tampere University of Technology, Department of Energy and Process Engineering. Report 174 Tampere 2003
- /2/ Nordic Thermal Mass Effect on Energy and Indoor Climate. Tampere University of Technology. Report 184 Tampere 2006
- /3/ Vinha, J. et al. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. TUT. Department of Civil Engineering. 2009.
- /4/ Terma järjestelmäopas. Parma Oy.2006.
- /5/ Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings. IEA. 2008.
- /6/ Kjellsen et al 2005. CO₂-uptake during the concrete life cycle. The CO₂ Balance of Concrete in a Life Cycle Perspective. Main project report: Results and conclusions. Nordic Innovation Centre. ISBN 87-7756-758-7.
- /8/ General guidelines for using thermal mass in concrete buildings. European concrete platform. 2009.
- /9/ Concrete for Energyefficient buildings. The benefits of thermal mass. European concrete platform. 2007.
- /11/ Betong för energieffektiva byggnader. En rapport från Betongforum. Sverige.2009,
- /16/ EN ISO 13790:2008. Rakennusten lämpötekniset ominaisuudet. Lämmityksen ja jäähdytyksen energiantarpeen laskenta.
- /18/ Passiivienergiatalo harkoista LVI tekniikan ratkaisumallit ja suunnittelu- ohjesuunnitteluohje. Tutkimusraportti VTTR_0849609. VTT 2009.
- /20/ Lounamaa, A . CO₂Emissions during the life cycle of Apartments and Office buildings – effects of precast concrete elements. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu 2010.
- /22/ Nye forskrifter av 2015, eller Stortingsmelding 21?
- /23/ Høseggen R.Z. (2008), Dynamic use of the building structure – energy performance and thermal environment, PhD thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway.
- /24/ Stene J., Smedegård O.Ø. (2013), Hensiktsmessige varme- og kjøleløsninger i bygninger, Cowi, Trondheim, Norway.
- /25/ Norsk Standard NS 3031:2007+A1:2011, Beregninger av bygningers energiytelse- Metode og Data.



*Layout: www.mo00.no
ISBN 978-82-993192-8-7
Oslo, Oktober 2013*

Betongelementforeningen



9 788299 319287