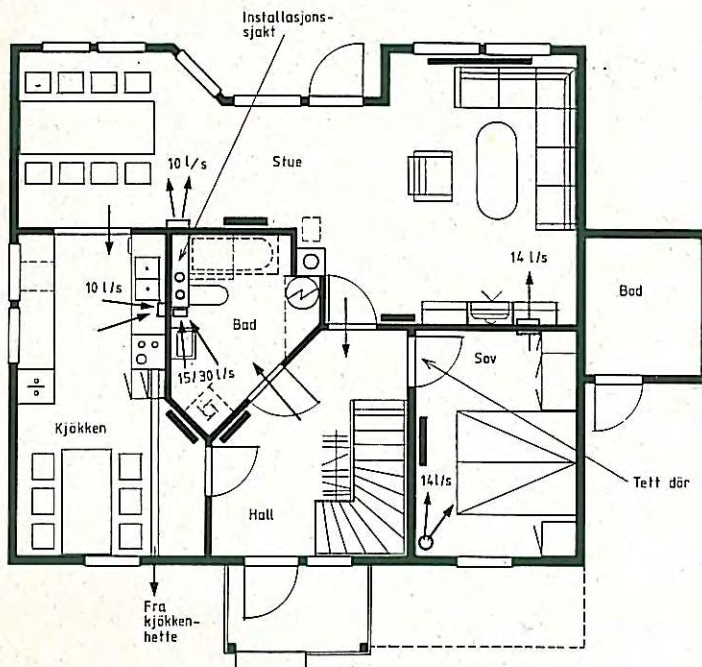


Per Gundersen

# Rimelige lavenergiboliger med rasjonelle installasjoner



BYGGFORSK

Norges byggforskningsinstitutt

Per Gundersen

# **Rimelige lavenergiboliger med rasjonelle installasjoner**

Prosjektrapport 196 – 1996

Prosjektrapport 196  
Per Gundersen  
**Rimelige lavenergiboliger  
med rasjonelle installasjoner**

ISSN 0801-6461  
ISBN 82-536-0514-5  
100 eks. trykt av  
S. E. Thoresen as  
Resirkulert papir:  
omslag Cyclus 200 g  
innmat Fortuna 100 g

© Norges byggforskningsinstitutt 1996

Adr.: Forskningsveien 3B  
Postboks 123 Blindern  
0314 OSLO  
Tlf.: 22 96 55 00  
Fax: 22 69 94 38 og 22 96 55 42

**Emneord:**

Boliger  
Energi  
ENØK  
Installasjoner  
Kostnader  
Lavenergi

## FORORD

Rapporten gir en oppsummering av resultater fra Norges forskningsråds prosjektet "*Rimelige lavenergiboliger*" i regi av programmet *Produktutvikling og forsøksbygging*. Prosjektet er konkretisert i form av planlegging og prosjektering av en energi- og kostnadseffektiv bolig som er planlagt oppført. Boligen forutsettes bygd innen Husbankens areal- og kostnadsrammer og er utført med livsløpsstandard.

Prosjektet "*Rimelige lavenergiboliger*" er en kobling av elementene "rimelige boliger" og "energieffektive boliger" der man samtidig må sikre boligen et godt inneklima. Lavt energibehov kan ofte være en nødvendig forutsetning for å oppnå et godt inneklima. Målet må være å bygge lavenergiboliger i husbankstandard som vanlige mennesker har råd til å kjøpe. For å holde kostnadene nede, er det viktig at boligen er rasjonelt utført.

Spesiell oppmerksomhet må vies installasjonene som i en moderne bolig utgjør 30-40 % av byggekostnadene. Denne andelen øker stadig med skjerpet krav til inneklima og energieffektivitet. Rapporten behandler derfor spesielt installasjonene med tanke på å utvikle kostnadseffektive installasjoner i boliger. Arbeidet med dette er støttet av NFR-prosjektet "*Kostnadseffektive installasjoner i boliger*" i regi av NFR-programmet *Norinstall*. Et annet hovedfelt som krever spesiell oppmerksomhet er frostsikring av godt isolerte gulv-på-grunnen-konstruksjoner. Redusert varmeavgivelse fra gulvet til grunnen gjør det nødvendig å revidere hele dimensjoneringsgrunnlaget for frostsikring av fundamentene. I tillegg er det under utvikling lette flytende gulvkonstruksjoner uten bruk av betong. Utvikling av godt isolerte gulv- og fundamentkonstruksjoner uten kuldebroer krever relativt omfattende arbeid i form av laboratoriemålinger og beregninger. Dette arbeidet som vil bli ført videre er bl.a. støttet av *Industri- og Energiseksjonen* i Norges Forskningsråd og Statens bygningstekniske etat.

Sivilark. Jon Christophersen, Byggforsk, har analysert hustype, romprogram og arealforbruk for prototypboligen i samarbeid med sivilark. Terje Pedersen, Block Watne A/S, og Arne Johnsen, Husbanken. Dr.ing. Eimund Skåret, Byggforsk, har behandlet emnet framtidsrettet avtrekksventilasjon, og dr.ing. Sverre Fossdal, Byggforsk, har vurdert plassering av elektriske panelovner. A/S Prosjektas har ført opp de første forsøksboligene for utprøving av nye gulv- og fundamentløsninger.

De omtalte NFR-prosjektene er samarbeidsprosjekter primært mellom Block Watne A/S og Byggforsk. I tillegg til Norsk forskningsråd med programmene *Norinstall*, *Produktutvikling og Forsøksbygging* og *industri- og energiseksjonen*, har prosjektet vært støttet av Husbanken, Statens bygningstekniske etat og Norges Energiverksforbund.

Oslo, februar 1996  
Per Gundersen

## INNHOLD

Forord .....	3
Sammendrag .....	7
1 Planlegging og prosjektering av rimelige lavenergiboliger .....	18
11 Innledning .....	18
12 Bakgrunn .....	19
2 Forutsetninger .....	21
21 Generelt .....	21
22 Energisparetiltak .....	21
23 Kostnadseffektivitet .....	22
24 Godt inn klima .....	22
25 Gode bruksegenskaper .....	22
26 Energikilder og energifordeling .....	23
3 Utforming av klimaskjermen .....	24
31 Form .....	24
32 Utnyttelse av passiv solvarme og dagslys .....	24
33 Bygningsvolum .....	24
34 Vindskjerming .....	25
35 Kostnadsforhold .....	25
36 Konklusjon .....	25
4 Utførelse av klimaskjermen .....	26
41 Lufttetthet .....	26
42 Vinduer .....	26
421 Overtemperaturer .....	27
43 Gulv på grunnen .....	27
431 Ringmur uten kuldebroer .....	28
433 Frostsikring .....	30
434 Lett gulvkonstruksjon .....	30
44 Yttervegger .....	31
45 Tak .....	32
451 A-takstoler .....	33
452 Isolert sperretak .....	33
453 Utvendig isolering .....	34
5 Planløsning .....	35
51 Hovedprinsipper .....	36
52 Planløsningsprinsipp .....	36
521 Varm kjerne .....	36
522 Installasjonssjakt .....	37
523 Temperatursoner .....	38
6 Installasjoner .....	39
61 Varmeanlegget .....	39
611 Temperaturkontroll .....	40
612 Temperaturstyring .....	40
613 Plassering av varmeovner .....	41
614 Gulvvarme og overflatetemperaturer .....	41
62 Ventilasjonsanlegget .....	42
621 Behovstyrt ventilasjon .....	43
621 Systemløsninger .....	44

622	Filter.....	44
623	Sentralt støvsugeranlegg.....	44
63	Kabelanlegg.....	44
63	Sanitærinstallasjoner.....	45
631	Vannskadesikker utførelse.....	46
632	Varmegjenvinning av grått avløpsvann.....	47
7	Eksempel på en energi- og kostnadseffektiv bolig.....	49
71	Hustype og fasader.....	49
72	Planløsning og installasjoner.....	51
73	Hustype, planløsning og bruksegenskaper.....	51
8	Bygningskonstruksjon.....	52
81	Yttervegger.....	52
811	Energi og kostnadsvurderinger.....	54
82	Vinduer.....	55
821	Energi og kostnadsvurderinger.....	57
82	Tak.....	57
821	Energi- og kostnadsvurderinger.....	58
83	Gulv på grunnen.....	58
831	Baderomsgulv og gulvvarme.....	60
832	Energi- og kostnadsvurderinger.....	60
9	Installasjoner.....	61
91	Ventilasjonsanlegg og luftmengder.....	61
911	Behovsstyring.....	62
912	Luftfordeling.....	63
913	Turtallstyrte vifter.....	65
914	Omkoblingsspjeld.....	65
915	Innregulering.....	65
916	Varmegjenvinner.....	65
917	Utførelse.....	66
918	Energi og kostnadsvurdering.....	67
919	Alternativ utførelse.....	68
92	Sanitærinstallasjoner.....	70
921	Kostnadsvurderinger.....	72
93	Varmeanlegget og elektriske kabler.....	73
931	Kostnadsvurderinger.....	76
94	Teleinstallasjoner, antenne- og alarmanlegg.....	76
10	Energibehov.....	77
11	Lønnsomhetsvurdering av lavenergiboligen.....	79
12	Sluttkommentater.....	81
13	Referanser.....	82
<b>Bilag 1</b>		
1	Elektriske panelovner.....	83
2	Kaldras fra vinduer.....	83
	Beregningseksempel.....	85
<b>Bilag 2</b>		
1	Boligventilasjon.....	88
2	Framtidsrettet avtrekksventilasjon i boliger.....	88
	21 Prinsipp.....	89

22	Stabilisering av drivkreftene.....	90
3	Planlegging og utførelse.....	91
31	Planløsning .....	91
32	Tilluft, forvarming og avtrekk.....	91
33	Energieffektivitet.....	92
4	Varmegjenvinning.....	92
42	Plategjennvinnere .....	93
43	Roterende (regenerative) gjennvinnere.....	94

### **Bilag 3**

1	Hustype, planløsning og bruksegenskaper .....	95
11	Basis for planløsningen .....	95
12	Planløsning/hustype.....	96
13	Eksteriør .....	97
14	Plassering på tomt.....	98
15	Sluttbearbeiding.....	98

## SAMMENDRAG

Skal man lykkes med å bygge en lavenergi bolig der målet er å halvere energibehovet, sett i relasjon til forbruket, basert på gjeldende byggeforskrift (1987), kreves omfattende tiltak. Tiltakene innebærer forbedret isolasjonsstandard, varmegjenvinning fra avtrekksluften etc. Flere av tiltakene, utført med tilgjengelig teknologi, vil nødvendigvis føre til tilleggs kostnader. Med dagens relativt lave energipriser er det begrenset hvor store tilleggs kostnader som kan aksepteres sett ut fra rene lønnsomhetsbetraktninger. De fleste av disse investeringene vil være i form av tilleggsisolering, som må betraktes som en langsiktig investering og ha samme levetid som boligen. Dette gjør at man kan akseptere noe dårligere lønnsomhet når energibesparelsen alene legges til grunn. Imidlertid vil flere av tiltakene gi boligen vesentlig bedre inn klima og dermed høyere kvalitet. Skal vi på kort sikt med bakgrunn i dagens energipriser få gjennomslag for bygging av lavenergi boliger, er det viktig at prisen på boligen omtrent ligger på samme nivå som dagens boliger. Skal vi lykkes med dette, må vi samtidig en bolig som er mest mulig rasjonell å produsere. Både boligens utforming og planløsning er av stor betydning for å nå målsettingen. Vi har satset meget på å utvikle en rasjonell bolig som samtidig har tilfredsstillende bruksmessige kvaliteter. Her vil innføring av rasjonelle installasjoner spille en avgjørende rolle. Installasjonene kan i en moderne bolig utgjøre 30 - 40 % av byggekostnadene. Klarer vi dette, bør det være fullt ut mulig å bygge lavenergi boliger innenfor Husbankens kostnadsrammer.

For tiden pågår det en stor forskningsinnsats nasjonalt og internasjonalt for at de enkelte separate energisparetiltak skal være konkurransedyktige med dagens løsninger. Det er ingen tvil om at vi vil oppnå dette, og at vi i en ikke for fjern framtid vil være i stand til å produsere lavenergi boliger til en kostnad som ligger på samme eller under dagens prisnivå.

Som grunnlag for å utvikle et konsept for lavenergi boliger er det satt opp en rekke overordnede kriterier som går bl.a. på energirammer, krav til inn klima, boligutforming, planløsninger og kostnader. Da lavenergi boligen skal omsettes på et åpent boligmarked, er det valgt en attraktiv boligtype med livsløpsstandard som følger Husbankens regelverk. Det er satt av plass og lagt opp til en samordning og forenkling av installasjoner både for vann, avløp, ventilasjon og varme. På dette området er det alltid rom for forbedringer. Denne delen av prosjektet vil føres videre i et nytt NFR-prosjekt, "*Kostnadseffektive installasjoner i boliger*" i regi av Norinstall-programmet.

Når det gjelder innføring av tiltak som både er energi- og kostnadseffektive, har vi nådd målet når det gjelder enkelte tiltak, mens andre energisparetiltak stadig er relativt kostbare når energibesparelsen ses isolert. For å nå prosjektets målsetting, når det gjelder energibehov, er det visse tiltak som med dagens teknologi og energipriser ikke er direkte energiokonomisk lønnsomme, men som kan forsvares da investeringene har mer langsiktig



karakter. For relativt kostbare passive energisparetiltak har vi ikke gått lenger i reduksjon av U-verdi enn angitte rammer i forslaget til ny byggeforskrift. Vi har lagt avgjørende vekt på at boligen skal være rasjonell både når det gjelder planløsning, installasjoner og utførelse som totalt gjør at boligen kan bygges innen Husbankens kostnadsrammer.

### *Boligtype og planløsning*

Boligen har tradisjonelt utseende, kompakt utformet med lite overflateareal (nær kvadratisk) i 1½ etasje og er utført med livsløpsstandard (stue, kjøkken, bad og soverom på inngangsplenet). Grunnflaten er 85 m<sup>2</sup> og totalt bruksareal 138 m<sup>2</sup>. Boligen har gjennomgående sentral, varm våtromskjerne med installasjonssjakt for tekniske anlegg. God tilgang på dagslys reduserer behovet for kunstig belysning der vi har prioritert dagslys til rom for mer varig opphold. Det er samtidig brukt store vindusflater mot syd for å utnytte passiv solvarme til oppvarming. Planløsningen er også valgt med tanke på en moderat temperatursoning.

### *Gulv på grunnen*

En godt isolert gulvkonstruksjon er en absolutt forutsetning for å oppnå et godt inneklima. Dagens løsninger har generelt for store varmetap i randsonen. I tillegg har man problemer på grunn av lang uttørringstid og tett gulvbelegg på fuktig betong. Det er derfor utviklet nye løsninger uten bruk av betong der man samtidig har eliminert alle kuldebroer i husets randsoner. I denne sammenhengen er det brukt forskjellige typer ringmursløsninger uten kuldebroer. Ringmursløsningene består av mer eller mindre trykksterk isolasjon forsterket med betongpropper for lastoverføring.

For gulvutførelsen som skal brukes i lavenergiboligen, er gjennomsnittlig U-verdi redusert fra 0,3 W/m<sup>2</sup>K til 0,13 W/m<sup>2</sup>K. Dette betyr en reduksjon i lavenergiboligens energibehov på 1 500 til 2 000 kWh. Samtidig ligger det et potensiale for kostnadsreduksjoner i størrelsesorden 5 000 til 10 000 kroner avhengig av grunnforholdene. Fjellterreng og ikke telefarlig grunn gir enklere fundamentering idet vi kan unngå frostisolering. Vi har her brukt en lett flytende gulvløsning uten betong.

Det oppstår imidlertid nye problemer når varmetapet fra gulvet reduseres drastisk.

Tradisjonelt er gulv-på-grunnen frostsikret ved hjelp av varme avgitt fra gulvet. Når denne varmen reduseres vesentlig, må man bruke en form for generell frostisolering.

Frostisoleringen kan f.eks. være i form av en horisontal markisolering. Det må da utvikles et nytt dimensjoneringsgrunnlag for frostsikring. Dette er et omfattende arbeid, som vil bli videreført i NFR-prosjektet "*Energieffektive, rimelig gulv på grunnen*". For å kunne ta i bruk de nye konstruksjonene allerede nå, er det utarbeidet et foreløpige dimensjoneringsgrunnlag for frostsikring av ringmuren i telefarlig grunn. Dette viser at man allerede ved moderate frostmengder, 20 000 h°C, bør bruke horisontal markisolering for å

unngå frostproblemer. I kaldt klima kan det være nødvendig med isolasjonsbredder på over 1,0 m.

I tillegg til frostsikring er det viktig å undersøke ulike typer flytende gulvkonstruksjoners evne til å tåle last. Det er i denne sammenhengen undersøkt forskjellige kombinasjoner av isolasjonsmaterialer, gulvplater etc. Foreløpige målinger viser at isolasjonen umiddelbart under gulvplaten bør ha en minste trykkstyrke på 150 kN/m<sup>2</sup>. Dette svarer f.eks. til ekspandert polystyren med densitet 30 kg/m<sup>3</sup>. Som platetykkelse i forsøksboligene er det brukt 22 mm vannfaste gulvsponplater med not og fjær på alle sider. Skjøtene skal limes. Montering av gulvplatene skal utføres etter at bygget er lukket. Arbeidet med å optimalisere gulvkonstruksjonen vil fortsette.

### *Vinduer*

Når det gjelder vinduer, har vi valgt å bruke toglassruter med gassfylling og lavemisjonsbelegg der glassavstanden er økt fra 12 til 16 mm. For vinduene av normal størrelse med glassfelt 1,0 m x 1,2 m som kan åpnes, er gjennomsnittlig U-verdi ca. 1,6 W/m<sup>2</sup>K, mens de store vinduene i stuen med høyde 1,6 m og fast karm har en gjennomsnittlig U-verdi på ca. 1,5 W/m<sup>2</sup>K.

U-verdien for et midtfelt i vinduet med argonfylling ligger på ca. 1,45 W/m<sup>2</sup>K. Toglassruter med krypton gass har tilsvarende U-verdi 1,15 W/m<sup>2</sup>K. Potensialet for å forbedre U-verdien for vinduene med toglassruter er derfor betydelig. Dette forutsetter bedre karm-løsninger. Toglassruter er vesentlig lettere enn treglassruter, og er derfor enklere og rimeligere å montere. I tillegg har toglassruter betydelig høyere solfaktor enn treglassruter. Man får tilført mer passiv solenergi i overgangsperiodene vår og høst. Sett på bakgrunn av de aktuelle klimaforholdene (Oslo-klima), vil bruk av gode toglassruter være energi- og kostnadmessig god investering. Tilleggs-kostnadene ved å bruke bedre isolerte vinduer enn standardvinduene med U-verdi ca. 1,9 W/m<sup>2</sup>K, ligger på ca. 2 000 kroner. Da årlig energibesparelse ligger på ca. 800 kWh, vil merkostnadene være innspart i løpet av en femårsperiode. Sekundære besparelser kan oppnås ved at vinduer med relativt lave U-verdier ikke krever varmeovner under vinduer for å kompensere for kaldras. Vi kan derfor plassere varmeovner på innervegger som gir enklere installasjonene. For lavenergiboligen gjelder dette for vinduer av normal størrelse (Oslo klima), mens vi av komfortsyns syn stadig ønsker noe varmetilførsel under de store vinduene i stuen. Varmeovner plassert på innervegger påvirker luftstrømningen i rommet og kan ev. forsterke nedadgående luftstrømning ved vinduer som kan føles som trekk, se *bilag 1*. Dette er imidlertid forhold som vil bli undersøkt nærmere og må ses i forhold til valgte ventilasjonsløsninger.

### *Høyisolerte bærende konstruksjoner*

Resultater i praktiske konstruksjoner når det gjelder kostnadseffektive høyisolerte vegg- og takkonstruksjoner, har vært relativt beskjedene. Det vanlige er å øke isolasjonstykkelsen for å tilfredsstille byggeforskriften eller markedet, og for øvrig bruke tradisjonelle byggetekniske løsninger. Primært er konstruksjonene utviklet for å tåle de lastene som kan bli påført bygningen. Deretter har man forsøkt å varmeisolere og vindtette konstruksjonene etter beste evne. Dette har gjerne ført til kuldebroer og problemer med vindtettingen. Når det stadig stilles krav til mer isolasjon, vil det lett føre til statisk overdimensjonering av konstruksjonene. Skal man lykkes med å utføre energieffektive rimelige vegg- og takkonstruksjoner, må man som for gulvet velge utradisjonelle løsninger der strukturelle forhold, isolasjon og vindtetthet ses i sammenheng. En måte er f.eks. å la trykksterke isolasjonsmaterialer inngå som en del av den bærende konstruksjonen. Man kan også tenke seg å skille klimaskjerm og bærende konstruksjon. Det er sannsynlig at det vil bli utviklet en helt ny generasjon høyisolerte bærende elementer som har lite til felles med dagens løsninger. Det gjenstår imidlertid viktig forskningsinnsats før man kan presentere disse løsningene som også må tilfredsstille flere sekundære forhold som brann, bestandighet, utseende etc. I lavenergiboligen har vi valgt tradisjonelle byggetekniske løsninger for tak- og veggkonstruksjonene. Vi har her prioritert konstruktive løsninger som sikrer god lufttetthet.

### *Vegger*

Når det gjelder vegger, har vi i lavenergiboligen økt isolasjonstykkelsen fra 150 mm til 200 mm. U-verdien er dermed redusert fra 0,26 W/m<sup>2</sup>K til 0,18 - 0,20 W/m<sup>2</sup>K, noe avhengig av utførelsen. Dette er for øvrig i overensstemmelse med forslaget i ny byggeforskrift. Den konstruksjonen som er brukt i lavenergiboligen, har tatt utgangspunkt i en tradisjonell utførelse med 148 mm x 36 mm stendere med krysslågt 48 mm x 48 mm lekter. Dampsperren er trukket 50 mm inn i konstruksjonen. Forholdene er dermed lagt til rette for å bruke tradisjonelt skjult elopplegg uten at det påvirker veggens lufttetthet. Konstruksjonen er på ingen måte rasjonell. Sett i relasjon til en standardvegg med 150 mm isolasjonstykkelse, øker veggens produksjonskostnad med ca. 11 000 kroner. Disse tilleggskostnadene står ikke i forhold til energibesparelsen ved redusert transmisjonstap som ligger på ca. 900 kWh/år.

En måte å forenkle konstruksjonen på kan være å unngå å montere installasjoner inne i vegg. Det forutsetter et åpent konkurransedyktig installasjonssystem for kabelinstallasjoner der man helt kan unngå å gå inn i klimaskjermen. For å optimalisere veggkonstruksjonen er det samtidig viktig at økt isolasjonstykkelse ikke fører til statisk overdimensjonering.

### *Tak*

For takkonstruksjonen har vi tilsvarende valgt en utførelse som det i praksis er mulig å lufttette. Isolasjonen er trukket helt ned til raftet med isolert hanebjelke og uisolerte knevegger. Det forutsettes igjen at dampsperran trekkes 50 mm inn i konstruksjonen ved å bruke en innvendig nedføring. Taket for øvrig utføres på tradisjonell måte. Man har også mulighet for å omfordele isolasjonen ved å øke isolasjonstykkelsen i himlingen.

Gjennomsnittlig U-verdi for takkonstruksjonen er  $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$  som svarer til en nominell isolasjonstykkelse på 250 mm. Energibesparelsen ved å redusere U-verdien fra 0,2 til  $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ligger på beskjedne 600 kWh/år og er følgelig for liten til å kunne forsvare tilleggskostnadene som ligger i størrelsesorden 5 000 kroner. Imidlertid vil det med den anvendte konstruksjonen være lettere å unngå luftlekkasjer og dermed indirekte øke energibesparelsen. Vi tror det er et stort potensiale for å forenkle takkonstruksjonen f.eks. ved å utnytte og integrere trykksterk isolasjon som en del av bæresystemet. Arbeidet med dette vil bli ført videre.

Ved å øke isolasjonstykkelsen for vegg og tak med 50 mm, vil samlet energibesparelse i form av redusert transmisjonsvarmetap ligge på ca 1 500 kWh/år. Samtidig vil produksjonskostnadene økes med ca. 16 000 kroner. Det er et relativt stort gap mellom investeringer og energibesparelse. Vi har derfor valgt å utføre både vegg- og takkonstruksjonen slik at vi oppnår en tilleggsytelse i form av bedre lufttetthet. Utførelsen kan bidra til å redusere infiltrasjonen fra 0,25 til 0,1 luftvekslinger i timen som ytterligere reduserer energibehovet med ca. 2 000 kWh/år. Samlet energibesparelse vil da ligge på 3 500 kWh/år.

Nå vil tiltak for å redusere varmetapet fra vegger og tak være langsiktige investeringer som bør ha samme levetid som boligen for øvrig. Sett i et livsløpsperspektiv kan derfor disse investeringene forsvares.

Bedre isolasjon av vinduer, gulv, vegger og tak er alle såkaldt passive tiltak med lang levetid, og følgelig bør de prioriteres. Når det gjelder energisparetiltak som har mer begrenset levetid, må det kreves kortere nedbetalingstid. Imidlertid kan også sekundære effekter som f.eks. forbedret kvalitet på boligens inn klima, bidra positivt ved vurdering av boligens total kostnader.

### *Installasjoner*

Fra å utgjøre ingenting ved århundreskiftet, utgjør installasjonene i dag i moderne boliger 30 - 40 % av byggekostnadene. Andelen som vil øke med innføring av ny byggeforskrift med skjerpet krav til inn klima og energieffektivitet. Det er behov for å tilrettelegge boligene for framtidige installasjoner pga. data- og kommunikasjonsutstyr og større behov for elektronisk

overvåkings- og varslingssystemer osv. Installasjonene i en bolig er derfor en vesentlig faktor når det gjelder å påvirke både anleggs- og driftskostnadene. Kostnadseffektive boliger forutsetter rasjonelle installasjoner som skal være enkle å betjene.

### *Ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning*

Når det gjelder ventilasjonsanlegget, har vi valgt å bruke et balansert ventilasjonsanlegg med varmeveksler på fraluften for forvarming av tilluften. Det betyr en samling av til- og fraluftskanaler i en sentral vertikal hovedkanal/sjakt. Planløsningen er bevisst valgt så man kan få godt inn klima med tilstrekkelig tilgang på frisk luft uten omfattende kanalnett. En sentral installasjonssjakt gjør det mulig å installere et sentralt støvsugeranlegg som ytterligere kan bidra til å sikre boligen et godt inn klima. Soverom er prioritert når det gjelder tilførsel av frisk luft. Det er brukt støydempede overluftsventiler mellom soverom og stue. Når det gjelder selve ventilasjonsaggregatet med varmegjenvinner er hovedvekten lagt på å tilfredsstille funksjoner som god filtreringsgrad, liten støy, god tilgjengelighet, enkel betjening og lave driftskostnader. For øvrig er det i lavenergiboligen valgt en type aggregat med lave trykktap som delvis baseres på naturlige drivkrefter (vind, oppdrift).

Ventilasjonsaggregatet har derfor varmeveksler, vifte, filter og kanaler som er relativt arealkrevende. Aggregatet er plassert i 2. etasje der vi har noe større tilgang på ledig areal. Vi anslår tilleggs-kostnadene for denne utførelsen i forhold til et tradisjonelt mekanisk anlegg til 12 000 kroner. I disse kostnadene inngår ev. tillegg for å sikre at boligen får god lufttetting. Årlig energibesparelse vil ligge på 4 000 til 6 000 kWh. Referanseboligen har et mekanisk anlegg med samme luftskifte i tillegg til en gjennomsnittlig infiltrasjon på 0,25 luftvekslinger i timen (lekkasjetall  $\approx 4$ ).

Stor spredning når det gjelder potensialet for årlig energibesparing, gjenspeiler usikkerhet med hensyn til boligens lufttetting, varmegjenvinnerens reelle årsvirkningsgrad og evnen til å behovstyre anlegget. Behovstyring av luftmengder i prototypboligen foregår rent mekanisk der avtrekksviften har tre turtallsinnstillinger med en basisventilasjon når ingen er til stede i boligen, normal drift og forsert ventilasjon. Kjøkkenviften i bruk vil også i perioder gi økt ventilasjon. Hvis boligen er mer utett enn forutsatt, vil noe mindre tilluft passere varmeveksleren. Derimot vil all avtrekksluft passere varmeveksleren. En ubalanse i luftmengder vil dermed kunne øke varmegjenvinnerens temperaturvirkningsgrad og dermed kompensere noe for økt infiltrasjonstap. Samtidig vil varmeveksleren være noe mindre utsatt for frost. Vi har anslått at varmegjenvinneren har en gjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for inntaksluften på ca. 75 %. Balansert behovstyrt ventilasjon med varmegjenvinning kan redusere oppvarmingsbehovet til ventilasjonsluften med 70 - 80 %. Behovstyring vil samtidig kunne redusere energiforbruket til drift av vifter med 20 - 30 %.

Under normale driftsforhold er ventilasjonsanlegget dimensjonert for å gi en friskluftstilførsel til soverom på 7 l/s per person. Normalt luftskifte vil da ligge på noe under 0,5 luftvekslinger i timen. I tillegg kommer en gjennomsnittlig infiltrasjon på 0,1 luftvekslinger i timen. Når boligen er tom, er det tilstrekkelig med 0,3 luftvekslinger i timen, eks. infiltrasjonen.

Hvis vi regner en energipris på 50 øre/kWh, vil merinvesteringene kunne være inntjent i løpet av 4 - 5 år. Ventilasjonsanlegget med varmegjenvinning som utført i lavenergiboligen, må betegnes å ha en rimelig god lønnsomhet. Bevegelige deler i anlegget bør kunne ha en levetid på 10 - 15 år, mens øvrige deler har betydelig lengere levetid. Man vil samtidig få et kvalitetsmessig meget godt anlegg som sikrer tilstrekkelig tilgang på frisk luft uten trekk. Imidlertid vil det være rom for betydelige forbedringer. I anlegget er det brukt en motstrøms platevarmeveksler. Det bør også vurderes andre løsninger. Også aggregatets størrelse bør optimaliseres osv. Ventilasjonsanlegget kan f.eks. bygges som et modulsystem for enkelt vedlikehold og med mulighet for utskiftning, supplering og utbygging. Man kan da i en oppbyggingsfase starte med et enkelt anlegg som senere kan bygges ut. Det bør være mulig selv med et enkelt oppdriftsanlegg å bruke en sentral plassering av både til- og fraluftskanalene, se *bilag 2*.

Anleggskostnadene kan f.eks. reduseres ved at anlegget med varmeveksler inngår som en integrert del av bygningskonstruksjonen, f.eks. ringmursløsning som kan tilfredsstille flere funksjoner.

### *Sanitærinstallasjoner*

Ved å utføre boliger på flere plan med livsløpsstandard, får vi fulle våtromsenheter i to etasjer. I tillegg kommer innføring av stadig mer vannkrevende installasjoner. Rasjonelle sanitærinstallasjoner er viktige for å redusere byggekostnadene, samtidig som disse installasjonene krever stor årvåkenhet for å forhindre vannskader. Her vil valg av systemløsninger og føringsveier være av stor betydning. I lavenergiboligen er alle sanitærinstallasjonene tilknyttet felles installasjonsvegg mellom kjøkken og bad som står i direkte kontakt med en sentralt beliggende installasjonsjakt. Alle vannledninger er lagt i lettvegger uten skjøter. Som et alternativ kan vannledningen også legges åpent i kjøkkenbenken. Alle skjøter på vannledningen vil da være i tilknytning til stigeledningen i sjakten. Sjakten er utstyrt med inspeksjonsluker som gir mulighet for kontroll av samtlige skjøter både på vann- og avløpsledningen. Sjaktløsningen gir et rasjonelt opplegg for sanitærinstallasjonene med mulighet for prefabrikasjon og enkel vannskadesikker utførelse. Konsentrering av røropplegget i lavenergiboligen bør ved noe prefabrikasjon kunne gi et sparepotensiale på min. 10 % eller ca. 3 000 kroner. Samtidig oppnår man å få et vannskadesikkert anlegg som er enkelt å vedlikeholde og skifte ut.

### *Elektriske kabler*

Både når det gjelder vann-, avløps- og kabelanlegg for elektrisitet, er det en fordel med fleksible systemløsninger som enkelt kan kontrolleres, suppleres eller rehabiliteres. Når det gjelder opplegg av elektriske kabler, vil det være primære og sekundære kostnader. Primærkostnadene er avhengige av antall kontakter, lengde på ledninger, mengden av utstyr, effekt etc. For å redusere disse kostnadene er det en fordel å konsentrere installasjonene og finne rasjonell føringsveier for trekking av kabler. En godt isolert klimaskjerm vil f.eks. kunne gjøre at man står noe friere når det gjelder å plassere varmeovner, samtidig som disse krever mindre effekt. Det vanlige er å bruke skjult forlegging der kablene trekkes i varerør av plast. Dette krever et omfattende rørnett som må monteres før man kan trekke kabler. For å unngå et overdimensjonert nett, forutsetter bruk av et skjult elektrisk anlegg at man har en relativt sikker formening om hvor man vil ha kontakter, lampepunkter etc. Anlegget blir derfor lite fleksibelt, og man ender etter en tid gjerne opp med en kombinasjon av skjult og åpen forlegging for å tilfredsstille kravet til fleksibilitet. Et fullstendig skjult anlegg kan føre til en økning av sekundær kostnadene, bl.a. bygningstekniske tilleggsarbeider. Valg av føringsveier for kablene er derfor viktig og må ses i sammenheng med praktisk og hensiktsmessig plassering av stikkontakter, brytere, lampeuttak etc. Spesielt når det gjelder klimaskjermen, som skal sørge for isolasjon og vindtetthet, er det en fordel om denne kan bygges opp uavhengig av tekniske installasjoner. Det forutsetter åpne systemløsninger som har et akseptabelt utseende og samtidig kan konkurrere i pris. Dette er for øvrig et arbeid som vil føres videre i NFR-prosjektet "*Kostnadseffektive installasjoner*". I lavenergiboligen der lufttetthet av klimaskjermen er høyt prioritert, er det brukt et skjult opplegg for elektriske kabler der man har trukket dampspærren 50 mm inn i konstruksjonen. Veggkonstruksjonen med 50 mm innvendig påføring gir tilleggs kostnader på 3 500 kroner i forhold til å bruke gjennomgående stendere. Plassering av dampspærren 50 mm inne i veggen gir ubetydelige tilleggs kostnader.

### *Teleinstallasjoner, antenneanlegg, alarmanlegg*

Nye boliger må klarlegges for en rekke typer kabelinstallasjoner. På samme måte som for elektriske kabelanlegg, er det en fordel med fleksible systemløsninger som gjerne kan kombineres med elnettet. Når det gjelder teleinstallasjoner, finnes det i dag relativt rimelig trådløse systemer som gir enkel installasjon.

### *Varmeanlegg*

I lavenergiboligen er det lagt opp muligheter for bruk av alternative energikilder til oppvarming. Lavenergiboligen har et beskjedent varmebehov som primært forutsettes dekket av elektriske panelovner. Både når det gjelder anleggskostnader og energiøkonomi,

vil det være en gunstig løsning. Dimensjonerende effektbehov til oppvarming vil ligge på vel 4,0 kW. Ved bruk av lett, godt isolert gulv med ubetydelig varmetap til grunnen, vil gulvets overflatetemperatur ligge nær lufttemperaturen. Rent komfortmessig vil dette gulvet ligge på linje med gulv med gulvvarme. Hvis man bruker samme isolasjonstykkelse for gulvet med gulvvarme, vil dette derimot ha større varmetap til grunnen.

På grunn av en meget godt isolert klimaskjerm står man relativt fritt ved plassering av varmeovnene, samtidig som ovnene krever mindre effekt. Bortsett fra de høye vinduene i stuen der det er fordelaktig med noe varmetilførsel under vinduet, kan de elektriske varmeovnene plasseres på innervegger (Osloklima), se *bilag 1*. Det gir forenklet installasjon av elovnene.

Avgjørende betydning for en energieffektiv bolig er god temperaturstyring. Samtidig er lavenergiboligens planløsning utført slik at det er mulig med en viss temperatursoning. For elektriske panelovner finnes det flere ulike former for lokal og/eller sentral programstyring gjerne kombinert med elektroniske termostater med tidsautomatikk. Da boligen er utført som en lett konstruksjon med god tilgang på frisk luft, vil avkjølingshastigheten ligge mellom 0,5 og 1,0 °C/time for en utetemperatur mellom 0 og -20 °C. Med nattsenkning kan man spare ca. 360 kWh eller 5-7 % av oppvarmingsbehovet. Forutsetningen for en effektiv nattsenkning er at man har en betydelig forseringseffekt på varmeanlegget. En hurtig oppvarming (1 - 2 timer) er avhengig av utetemperaturen, men krever gjerne en dobling av dimensjonerende effekt avgitt fra varmeanlegget. På bakgrunn av en relativt beskjeden energisparing ved nattsenkning, bør det undersøkes om denne overdimensjoneringen av varmeanleggene er økonomisk lønnsom.

I tillegg til elektriske panelovner er lavenergiboligen utstyrt med gulvvarme i det sentralt beliggende baderommet i hovedetasjen. Her det brukt en tradisjonell løsning med elektriske toleder varmekabler i betong for god varmfordeling. Betonggulv i badet er også brukt for å fikse innstikk for vann, sluk og avløpsledningen i anleggsperioden. Baderommets sentrale plassering i boligen gjør at vi unngår økt varmetap til grunnen fra gulvvarmeanlegget uten bruk av tilleggsisolasjon.

Ved å konsentrere elektriske installasjoner og redusere effekten på varmeanlegget ligger det et sparepotensiale på elinstallasjoner inkl. varmeovner på 2 000 til 3 000 kroner. Dette kan ev. investeres i en sentral styringsenhet for varmeovnene for å gjøre det lettere å bruke en moderat temperatursoning, ev. nattsenkning i boligen. Energisparepotensialet for en moderat temperatursoning (lavere temperatur på soverom), blir omtrent 1 000 kWh/år. Det finnes i dag styringsystemer som i tillegg til temperaturstyring kan omfatte en rekke andre funksjoner. Dette kan i prinsippet omfatte alle elektriske installasjoner i boligen som



ventilasjonsvifter, utelys, motorvarmer, alarmsystemer etc. Det gjør disse systemene aktuelle også i tilknytning til lavenergiboligen.

Lavenergiboligen er også utstyrt med skorstein og ovn for fast brensel. Skorsteinen har en sentral plassering i tilknytning til installasjonskjerne noe som gir en god varmefordeling ved fyring med biobrensel. Da ovn for fast brensel og skorstein ligger nær bereder for varmt vann, er det i prinsippet mulig å bruke bioenergi også til oppvarming av varmt tappevann. Lavenergiboligen har et relativt beskjedent effektbehov. Det er derfor viktig å bruke en ovn med god effektkontroll.

Varmtvannsberederen er plassert på badet der varmetapet kan utnyttes hele året. Overtemperaturer som vi ønsker på badet, tapes ikke ut av kalde yttervegger.

#### *Lønnsomhetsvurdering for lavenergiboligen*

Samlet årlig energibehov for lavenergiboligen inkl. moderat temperatursoning ligger på ca. 14 000 kWh eller ca. 100 kWh/m<sup>2</sup>. Det er omtrent en halvering av energibehovet hvis boligen er bygd etter gjeldende byggeforskrift (1987). Sett i forhold til dagens utførelse som på flere områder har høyere standard enn gjeldende byggeforskrift, vil årlig energibesparelse (relatert til Oslo klima) kunne ligge i størrelsesorden 10 000 kWh. Dette må imidlertid betraktes som et potensiale som krever relativt energibevisste brukere. Tilleggskostnadene for å oppnå denne energireduksjonen avhenger av utførelsen og stedlige forhold. Kalkulasjoner viser at tilleggene når det gjelder rene produksjonskostnader for å oppnå denne energibesparelsen, vil ligge i størrelsesorden 15 000 - 20 000 kroner. Det er da forutsatt at besparelser som er oppnådd på gulvkonstruksjonen subsidierer andre mer kostbare energisparetiltak. På bakgrunn av rene energibesparelser bør det være mulig at merkostnadene kan tjenes inn i løpet av en tre- til femårs periode. Det er imidlertid ikke helt rettferdig å sammenlikne en tradisjonelt utført bolig direkte med lavenergiboligen. Lavenergiboligen vil bl.a. ha et vesentlig bedre inneklima som i seg selv utgjør en tilleggs kvalitet for boligen. Lavenergiboligen er også utført med tanke på å unngå luftlekkasjer, i tillegg er det brukt vannskadesikre installasjoner som kan forhindre framtidige byggeskader.

#### *Brukernes betydning*

En betydelig del av energiforbruket i en bolig har direkte tilknytning til våre bovaner. Dette kan gå på forhold som lufting, temperaturnivå, bruk av elektrisk utstyr, varmvann osv. I en riktig utført lavenergibolig vil noe av denne energien kunne gjenvinnes og dermed til en viss grad gjøres uavhengig av brukeren. Allikevel vil brukeren ha stor innflytelse på boligens energinivå og inneklima. Som for enhver annen bruksgjenstand, bør boligen være utstyrt

med bruksanvisning. Den skal gi nødvendig informasjon om hvordan man best kan nyttiggjøre boligens innebygde kvaliteter. Det er da ikke snakk om dramatiske begrensninger i bruken av boligen, men bare mindre justeringer av våre bovaner.

## 1 PLANLEGGING OG PROSJEKTERING AV RIMELIGE LAVENERGIBOLIGER

### 11 Innledning

Emnet for rapporten er planlegging og prosjektering av energi- og kostnadseffektive boliger. Hovedvekten er lagt på valg av bygningstekniske løsninger for klimaskjermen som gir lave varmetap og samtidig oppnår et godt inn klima på en energieffektiv måte. Det betyr at tekniske installasjoner og bygning må ses i sammenheng der det er lagt stor vekt på at boligene skal ha gode bruksegenskaper og en akseptabel estetisk utforming. Boligene skal også tilfredsstillе Husbankens areal- og kostnadsrammer. De angitte energisparetiltakene har generell gyldighet, men er spesielt rettet mot frittliggende eneboliger som har størst spesifikt energibehov og samtidig er den mest vanlige boligtypen i Norge. Det er også vist eksempel på en energi- og kostnadseffektiv enebolig som er planlagt oppført.

Lavenergiboliger blir gjerne definert som boliger som har et energibehov til oppvarming, som ligger under halvparten av dagens forbruk med referanse i gjeldende byggeforskrift. Vi har her valgt å erstatte boligens energibehov for oppvarming med boligens totale behov for kjøpt energi. Det gir et mer korrekt bilde av boligens samlede energibehov idet det er en direkte sammenheng mellom boligens totale energiforbruk og boligens varmebehov. For en lavenergibolig vil ca. 40 % av kjøpt energi gå til lys, utstyr og varmt forbruksvann. En del av denne energien vil også kunne utnyttes til boligoppvarming. Etter ovennevnte definisjon vil samlet nominelt energibehov for en lavenergibolig i vanlig husbankstandard (120 m<sup>2</sup>) ligge i størrelsesorden 100 kWh/m<sup>2</sup> eller 12 000 kWh/år. I praksis vil energiforbruket kunne svinge både opp og ned avhengig av bruken av boligen. Det er ikke til å komme bort fra at energiforbruket er sterkt avhengig av brukeren. Hovedvekten er derfor lagt på energieffektive tiltak knyttet til installasjoner og bygningsmessige forhold som gir god energiøkonomi, mest mulig uavhengig av bruken av boligen. Imidlertid vil generelle energisparende brukervaner alltid være en nødvendig forutsetning for å kunne nå det sparepotensiale som ligger i konstruksjonen. I denne sammenhengen er selvfølgelig prisen på energi helt avgjørende.

Man opererer både med begrepene lavenergiboliger og energieffektive boliger. For lavenergiboliger er gjerne målet et lavest mulig forbruk av kjøpt energi, mer eller mindre uavhengig av kostnader. Med en energi- og kostnadseffektiv bolig forstås en bolig med lavest mulig energibehov innen gitte økonomiske rammer. I dette prosjektet har vi samtidig som delmål å utvikle rimelige boliger. Dette setter visse økonomiske rammer når det gjelder byggekostnader. Vi har her valgt å legge Husbankens kostnadsrammer til grunn for lavenergiboligen. Det må derfor legges stor vekt på

samspeillet mellom energi- og byggekostnader som er vesentlig for valg av energisparetiltak. Da en bolig har lang levetid, 50 - 100 år, er det viktig å se på såkalte passive energisparetiltak som en langsiktig investering. Når det gjelder tekniske installasjoner, har de en vesentlig kortere levetid. Dette må derfor komme til uttrykk både det gjelder hvilke investeringer som er regningsvarende innen de gitte rammene, men også når det gjelder plassering og føringsveier som muliggjør enkel utskiftning. Mer marginale energisparetiltak, ofte med begrenset levetid og betydelige anleggs- og vedlikeholdskostnader, faller utenfor dette prosjektet og er ikke behandlet her. Prosjektet er i høyeste grad tverrfaglig og omfatter følgende områder:

- Arkitektur
- Bygningskonstruksjoner
- Installasjoner (varme, ventilasjon, sanitær, el, tele)
- Inneklima
- Energikilder
- Materialteknologi

I utviklingen av en kostnadseffektiv laveneribolig er det brukt et tverrfaglig planleggingsteam bestående av arkitekter, klima- og bygningsingeniører.

Vi har lagt stor vekt på at bygning og klimatekniske anlegg (varme, ventilasjon) blir sett i sammenheng for å oppnå et godt inneklima på en kostnads- og energieffektiv måte. Da laveneriboligen samtidig skal være et demonstrasjonsprosjekt, har vi valgt å bruke en spesiell planløsning for å tydeliggjøre prinsipper med plassering og føringsveier for sanitær- og klimatekniske installasjoner. Løsningsprinsippene lar seg imidlertid enkelt overføre til andre boligtyper og planløsninger.

## 12 Bakgrunn

Redusert behov for kjøpt energi i boliger kan oppnås på tre prinsipielt forskjellige måter.

- bruk av alternative fornybare energikilder
- reduksjon av varmetap
- varmegjenvinning

I tillegg til det ytre klimaet påvirkes inneklima og energibehovet av bygningen (planløsning, isolasjon, tetthet osv.), av de klimatekniske installasjoner (varmeanlegg, ventilasjonsanlegg, regulering, varmegjenvinning etc.) og av brukeren. Rasjonell boligbygging forutsetter derfor en integrert planlegging der installasjonsbransje, arkitekter, VVS-ingeniører og bygningsingeniører taler samme språk. På grunn av en fragmentert bygningsbransje er dette samarbeidet lite utviklet i dag.

Når det gjelder bruk av alternative fornybare energikilder i denne sammenheng, tenkes det spesielt på utnyttelse av passiv solvarme ev. biobrensel (ved) hvis denne kan skaffes kostnadsfritt. Reduksjon av varmetap vil hovedsakelig omfatte passive bygningsrelaterte tiltak og varmegjenvinning fra ventilasjonsluften. Aktive systemløsninger for varmegjenvinning er viktige, da disse til en viss grad kan kompensere for dårlige bruksvaner. Imidlertid vil aktive systemer ha mer begrenset levetid og kreve visse tiltak både når det gjelder drift og vedlikehold. Skal aktive anlegg i en bolig ha en tilfredsstillende funksjon over tid må disse være så enkle å betjene som mulig. I tillegg til mer aktive varmegjenvinningsanlegg f.eks. varmevekslere for ventilasjonsluften eller det grå avløpsvannet, kan man gjenvinne noe av varmen avgitt fra viftemotorer, utstyr, lys etc. Man bør derfor være mer bevisst ved plassering av energikrevende elektriske installasjoner. For eksempel plassere bereder for varmt vann på badet der man kan utnytte varmetapet fra denne over hele året.

## 2 FORUTSETNINGER

### 21 Generelt

Energieffektive boliger forutsetter en godt isolert klimaskjerm uten kuldebroer som gir direkte varmeledning eller luftlekkasjer. Når boligen i tillegg skal ha et godt inneklima, krever dette tilstrekkelig tilgang på frisk luft etter behov. Energieffektivitet tilsier da at man må ha en form for varmegjenvinning av avtrekksluften og et oppvarmingssystem som gjør det mulig å styre innelufttemperaturen effektivt. Skal disse boligene i tillegg være kostnadseffektive, må de forskjellige energisparetiltakene i størst mulig grad kunne integreres i bygningskonstruksjonen og planlegges sammen med resten av bygget. Bygningskonstruksjonen skal være enkel å produsere samtidig som det legges opp til muligheter for prefabrikasjon. Dette kan redusere byggetiden. Det er viktig å velge materialer og konstruksjoner som samlet gir lavest mulig byggefukt. En kostnads- og energieffektiv konstruksjon består av en rekke elementer som til dels er innbyrdes avhengige. Det krever en nøyaktig og omfattende konsekvensanalyse av alternativer for å komme fram til en total sett optimal løsning.

Skjerpet krav til energieffektivitet og godt inneklima vil gi boligen en betydelig kvalitetshevning sett i relasjon til dagens løsninger.

### 22 Energisparetiltak

Energisparetiltak kan omfatte:

- godt varmeisoleret klimaskjerm uten kuldebroer
- enkel bygningsgeometri
- gjennomtenkte detaljer for å unngå kuldebroer
- energivennlige bygningsmaterialer (lite energi til framstilling og avhending)
- store vindusarealer mot syd for å utnytte passiv solvarme
- metoder, produkter og konstruksjoner som sikrer god lufttetthet
- behovstyrt ventilasjon med varmegjenvinning av avtrekksluften
- reduksjon og gjenvinning av vifteenergi
- vannbesparende varmtvannsutstyr
- varmegjenvinning fra grått avløpsvann
- energieffektive husholdningsapparater og lysarmatur
- varmeanlegg med god temperaturstyring
- planløsning med mulighet for inndeling i temperatursoner
- spesielt varme rom (bad) uten yttervegger
- uoppvarmede boder mot yttervegger
- isolerte innervegger i soverom, bodvegger etc.
- god tilgang på dagslys
- gulv på grunnen

### 23 Kostnadseffektivitet

Kostnadseffektivitet i anleggs- og driftsfasen kan omfatte:

- enkel bygningskonstruksjon med mulighet for prefabrikkasjon
- bruk av trykksterke isolasjonsmaterialer i en konstruktiv sammenheng (forskjellige typer plastisolasjon, skumbetong osv.)
- tekniske installasjoner (inkl. skorstein), konsentrert og samordnet i en felles sentralt plassert teknisk sjakt
- bruk av felles installasjonsvegger (felles for våtrom som kjøkken og bad)
- sentral plassert av avtrekkssone og aggregater for ventilasjonsluften gir korte kanaler
- klimaskjerm uten tekniske installasjoner. (Varmeanlegg vesentlig plassert på innervegger)
- Aggregater, rør- og kanalsystemer lett tilgjengelig og vesentlig innenfor klimaskjermen
- vannskadesikre installasjoner med enkel mulighet for utskiftning (kondens, lekkasjer osv.)
- enkle systemløsninger med lang levetid som ikke krever omfattende drift og vedlikehold

### 24 Godt inneklima

Godt inneklima krever bl.a.:

- effektiv solavskjerming, mulighet for utlufting for å unngå høye innetemperaturer i sommerhalvåret
- tiltak for å forhindre trekk, kaldras fra vinduer og kalde gulv
- tiltak for å unngå fukt i byggeperioden
- mulighet for å filtrere inntaksluften
- behovstyrt tilførsel av friskluft
- mulighet for å kunne åpne vinduer
- tiltak for å unngå støy fra vifter og aggregater
- bevisst bruk av miljøvennlige bygningsmaterialer
- mulighet for enkelt renhold

### 25 Gode bruksegenskaper

I tillegg må boligen generelt gode bruksegenskaper. Dette kan også omfatte:

- fleksibilitet når det gjelder å plassere varmeanlegg
- god romutnyttelse
- mye areal til oppholdsrom, lite sirkulasjonsareal

- boligen er brukbar i alle vanlige tomtesituasjoner
- livsløpsstandard (stue, kjøkken, båd og mulighet for stort soverom på inngangsplanet)
- enkel bruk, bruksanvisning for boligen

## 26 Energikilder og energifordeling

Sett ut fra et økologisk synspunkt er det viktig å basere energibruken i boligene på fornybare energikilder. I Norge er dette primært elektrisitet i form av vannkraft. Alternative fornybare energikilder kan f.eks. være bioenergi, solenergi i forskjellige former, vind og andre lavtemperatur-energikilder som luft, vann og jord som kan utnyttes via en varmpumpe. Da alle energiformer ender opp som varme, kan man oppnå en viss energifleksibilitet ved at varmeanlegg og varmtvannsproduksjon baseres på vann som energibærer. Dette må ikke blandes sammen med bruk av alternative individuelle energiformer som kan utnyttes i en krisesituasjon der tilførsel av eksternt tilført energi er opphørt. Ethvert hus bør derfor være utstyrt med en alternativ energitilførsel f.eks. vedovn e.l. som kan brukes i en krisesituasjon og uten tilgang på elektrisitet. Vannbårne anlegg er normalt helt avhengig av tilførsel av elektrisitet i større eller mindre grad for å kunne fungere.

Dagens boliger, f.eks. en husbankbolig med boflate 130 m<sup>2</sup>, vil i gjennomsnitt kunne ha et årlig energibehov på ca. 200 kWh/m<sup>2</sup> eller ca. 25 000 kWh. Av dette går ca. 65 % eller 15 000 kWh til oppvarming, 15 % til produksjon av varmt tappevann og resten, 20 %, til lys og utstyr. Varmeenergien avgitt fra boligens varmeanlegg vil svinge opp eller ned avhengig av forbruket av energi til lys og utstyr. For framtidens lavenergiboliger med et energibehov på ca. 100 kWh/m<sup>2</sup> vil dette bildet kunne endres vesentlig. Nødvendig energitilførsel til oppvarming er nå redusert til ca. 50 % av boligens samlede energibehov. For lavenergiboligen vil dette bety et årlig energiforbruk av varmeanleggene på ca. 6 500 kWh. Boligens varmebehov er dermed redusert med ca. 57 %. Produksjonen av varmt vann vil kunne ligge på ca. 25 %, mens energien til lys og utstyr er økt til 25 %. Ved innføring av stadig mer utstyr og lys i våre boliger, er det en tendens til at energiforbruket i form av elektrisitet øker, noe som igjen fører til mindre behov for energi tilført fra varmeanleggene. Det er derfor sannsynlig at framtidens lavenergiboliger vil ha et betydelig redusert energiforbruk, og at en vesentlig del av denne energien må dekket i form av elektrisk energi.



### **3 UTFORMING AV KLIMASKJERMEN**

#### **31 Form**

Avgjørende for en energieffektiv bolig er at forholdet mellom boligens totale omhyllingsflate, "klimaskjerm", og bruksareal er minst mulig. Det betyr generelt at man bør ha minst mulig overflateareal direkte eksponert mot kalde flater. Det kan derfor f.eks. være hensiktsmessig å ha kalde boder som skjerm mot yttervegger og da spesielt mot nord.

Når det gjelder frittliggende eneboliger, vil et tilnærmet kvadratisk 1 ½ etasjes hus ha vesentlig mindre overflate enn et langt, smalt hus på ett plan med samme bruksareal. Husets form har med andre ord stor betydning for husets varmetap. En plate-på-grunn fundamentering som sokkelløsning eller kjellerløs utførelse er vesentlig gunstigere enn en kryperomsløsning eller åpen fundamentering.

#### **32 Utnyttelse av passiv solvarme og dagslys**

I tillegg bør boligen utformes slik at man i størst mulig grad kan utnytte såkalt passiv solvarme og sikre rikelig tilgang på dagslys. Utvikling av ny glass- og vindusteknologi har resultert i nye vindustyper med lav U-verdi. Plassert på sydfasader kan disse vinduene ha en positiv energibalanse over året. Dette tillater igjen bruk av mer glass som også er gunstig når det gjelder tilgangen på dagslys. 13 - 15 % glassareal i forhold til gulvarealet sikrer rikelig tilgang på dagslys under forutsetning at vindusflatene er riktig avstemt i forhold til rommets geometri. I et langt, smalt rom hjelper det lite bare å ha en stor vindusflate på en av kortveggene. Solstråling mot veggfasaden mot syd vil også føre til et lavere varmetap enn for de øvrige fasadene. Begge disse forhold kan gjøre at det energimessig kan være gunstig å ha en boligutforming med stor sydfasade. Større fasader mot syd kan derfor i gitte situasjoner være mer hensiktsmessig enn kompakt form. Man må imidlertid sikre at boligen ikke får unødig stort effektbehov i kalde perioder uten tilgang på sol.

#### **33 Bygningsvolum**

Tilstrekkelig tilgang på frisk luft er en nødvendig forutsetning for å sikre boligen et godt inn klima. Boliger med tilnærmet samme bruksareal og planløsning har i utgangspunktet samme krav til luftmengder. Boligens volum vil derfor ikke direkte komme inn når det gjelder energitapet på grunn av ventilasjonen. Et rom med et stort volum (stor takhøyde) får følgelig et lavere luftskifte. Ved å øke takhøyden oppnår man imidlertid større buffereffekt når det gjelder magasinering av forurensing ved periodevis bruk av rommet, se for øvrig Byggforskserien, byggdetaljer G 421.505, G 421.502, A 552.301 A 552.303.

### **34 Vindskjerming**

Husets plassering på tomta med bruk av naturlige eller kunstige vindskjærmer i forhold til karakteristisk vindretning, særlig i fyringssesongen, kan også bety noe for husets varmetap. Økt vindhastighet spesielt mot husets glassflater vil føre til redusert varmeovergangsmotstand i tillegg til at økt vindtrykk på fasaden gir større infiltrasjon av luft gjennom utettheter.

### **35 Kostnadsforhold**

Det er vesentlig rimeligere å oppnå et lavt varmetap fra en "gulv-på-grunnen" løsning i forhold til en veggkonstruksjon der store veggtykkelser også reduserer boligens bruksareal. En forbedring av takkonstruksjonens U-verdi kan også i visse tilfeller være rimeligere enn å øke veggtykkelsen. Ved innføring av nye vindustyper med lave varmetap kan det være gunstig å øke vindusarealet mot syd for å utnytte passiv solvarme. Forutsetningen må være at disse vinduene har en samlet energibalansse som er lik eller bedre enn den veggen de skal erstatte. Økt tilgang på dagslys vil også kreve mindre kunstig belysning.

### **36 Konklusjon**

En rekke faktorer må telle med når det gjelder å bestemme boligens arkitektoniske utforming. Det kan derfor være vanskelig å sette opp entydige regler for utformingen av en energieffektiv bolig som samtidig skal være rimelig å oppføre. Boligen må også vurderes opp mot bruk, trivselskrav og estetikk der energieffektiv form tilpasses lokale byggeskikker. For den aktuelle lavenergiboligen er det valgt et hus med tradisjonelt utseende. Det er her prioritert en kompakt husform og store vindusarealer mot syd, se fig. 71.

## 4 UTFØRELSE AV KLIMASKJERMEN

### 41 Lufttetthet

Et viktig punkt for å sikre energieffektivitet er å bruke enkle bygningstekniske løsninger som gjør det mulig å oppnå god lufttetthet. God lufttetthet av klimaskjermen er en nødvendig forutsetning for å oppnå et energieffektivt ventilasjonsanlegg. Særlig viktig er lufttetthet i tilknytning til takkonstruksjonen der man har et overtrykk, og ved overgangen mellom vegg og ringmur der man tilsvarende har et undertrykk. Ukontrollert infiltrasjon (lekkasje gjennom utettheter i klimaskjermen) vil i vesentlig grad kunne øke energibehovet, se Byggforskserien, byggdetaljer G 472.325 [6]. Høye hus vil f.eks. være mer utsatt for infiltrasjon på grunn av større trykkdifferanser (skorsteinsvirkning).

### 42 Vinduer

Det er viktig å velge vindustyper og -plassering og samlet tilstrebe en positiv energibalanse, eller at forholdet mellom tilført nyttbar solvarme og varmetap gjennom vinduene er størst mulig. Dette kan oppnås ved å ha store vindusflater mot syd og bruke vinduer med lav U-verdi. Hvis vinduene har en lik eller positiv energibalanse i forhold til veggen de er satt inn i, kan det være fordelaktig å øke glassarealet. Bedre utnyttelse av dagslyset er også et viktig energisparetiltak. Imidlertid er det en direkte kobling mellom et vindus U-verdi og solfaktor (energitilgang). Vinduer med lav U-verdi har samtidig lav solfaktor som betyr redusert tilførsel av solvarme internt i boligen. Man må derfor velge et kompromiss som vil være avhengig av vindusorientering, tilgang på sol i vinterhalvåret, generelle klimaforhold og ikke minst kostnader, se Byggforskserien, byggdetaljer G 472.325 og [1]. For å oppnå et godt inneklima på en energieffektiv måte, bør man velge en vindustype med så lav U-verdi at man unngår komfortproblemer på grunn av lave innvendige overflatetemperaturer, også når det ikke er montert varmeovn under vinduet. Komfortproblemene skyldes kuldestråling fra kald vindusflate og trekk på grunn av kald strømming ned langs vinduet og langs gulvet i oppholdsonen (kaldras). Den tradisjonelle måten unngå disse problemene er å plassere en varmeovn under vinduet for å heve den innvendige overflatetemperaturen og gi en oppadrettet luftstrøm. Denne plasseringen av varmeovnene vil føre til økt energitap, og er derfor ikke en ideell løsning.

For normale vindusdimensjoner i boliger vil kaldras og stråling mot kald flate kunne unngås for moderate utelufttemperaturer når vinduene har en U-verdi  $< 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Dette kan oppnås både med to- og treglassruter. Treglassruter har normalt høyere solfaktor, er enklere å montere på grunn av betydelig lavere vekt, og er vesentlig rimeligere.

#### 421 Overtemperaturer

For en godt isolert bolig med lavt varmetap vil fyringssesongens lengde reduseres. Balansetemperaturen, dvs. den utelufttemperaturen som krever tilskuddsvarme fra varmeanlegget i tillegg til husets generelle internvarme fra personer, lys og elektrisk utstyr, vil stadig bli lavere. Disse boligene (lette boliger i tre) er derfor særlig utsatt for overtemperaturer på grunn av direkte solinnfall. I en bolig løses problemer med overtemperaturer primært ved å lufte gjennom åpne vinduer eller ved å åpne dører til rom med lavere temperaturer, kombinert med bruk av mekanisk solavskjerming. Mekanisk solavskjerming kan gjerne være en fast avskjerming som tillater solinngang ved lav solhøyde om vinteren, men sørger for en effektiv avskjerming om sommeren. Overtemperaturproblemet i en vanlig bolig løses ikke ved bruk av vinduer med ekstrem lav solfaktor. Alle rom for varig opphold bør være utstyrt med minst ett vindu som kan åpnes.

#### 43 Gulv på grunnen

Gulvet er den bygningsdelen hvor vi lettest merker lave temperaturer. Ved å bruke gulv-på-grunnen unngår man de store svingningene i varmetapet man har i en vegg på grunn av hurtige variasjoner i utelufttemperaturen. Dette vil kunne begrense effekttoppene ved lave utelufttemperaturer. Man bør derfor unngå å bruke løsninger med åpen fundamentering som er direkte eksponert mot uteluften. Også kryperomsløsninger bør man unngå på grunn av problemer med fukt og risikoen for at vannoppstikk kan fryse. På grunn av relativt lave jordtemperaturer vil man imidlertid få et varmetap fra et gulv-på-grunnen over hele året. Over halve varmetapet fra gulvet i småhus avgis fra en sone på én meter langs husets yttervegger. For vanlige småhus utgjør denne flaten ca. 40 % av samlet gulvflate. Det er derfor avgjørende for varmetapet og dermed gulvtemperaturene å unngå kuldebroer i denne sonen. Kuldebroer i overgangen mellom veggsvillen og ringmuren kan skyldes luftlekkasjer og direkte varmeledning mot kalde flater pga. utilstrekkelig isolasjon. Forskjeller i lufttemperaturen i en bolig med de laveste temperaturene ved gulvets yttersone gjør at man får et undertrykk i denne sonen ("skorsteinsvirkning"). God lufttetting i overgangen gulv/vegg er derfor viktig for å unngå kald trekk. Hvis man kan eliminere kuldebroer i husets randsone, vil en tykkelse på gulvisolasjonen på ca. 150 mm (plastisolasjon) gi en gjennomsnittlig U-verdi på ca. 0,15 W/m<sup>2</sup>K. En energieffektiv bolig bør ha en U-verdi for gulvkonstruksjonen som  $\leq 0,15$  W/m<sup>2</sup>K.

### 431 Ringmur uten kuldebroer

Problemet med dagens ringmursløsninger er ofte at man har for kort avstand mellom en kald ringmur i betong og betonggulvet, se fig. 431 a. Dette kombinert med relativt beskjeden tykkelse på gulvisolasjonen gir et uakseptabelt stort varmetap fra gulvet til ringmuren som er eksponert for utelufttemperaturer og til grunnen.

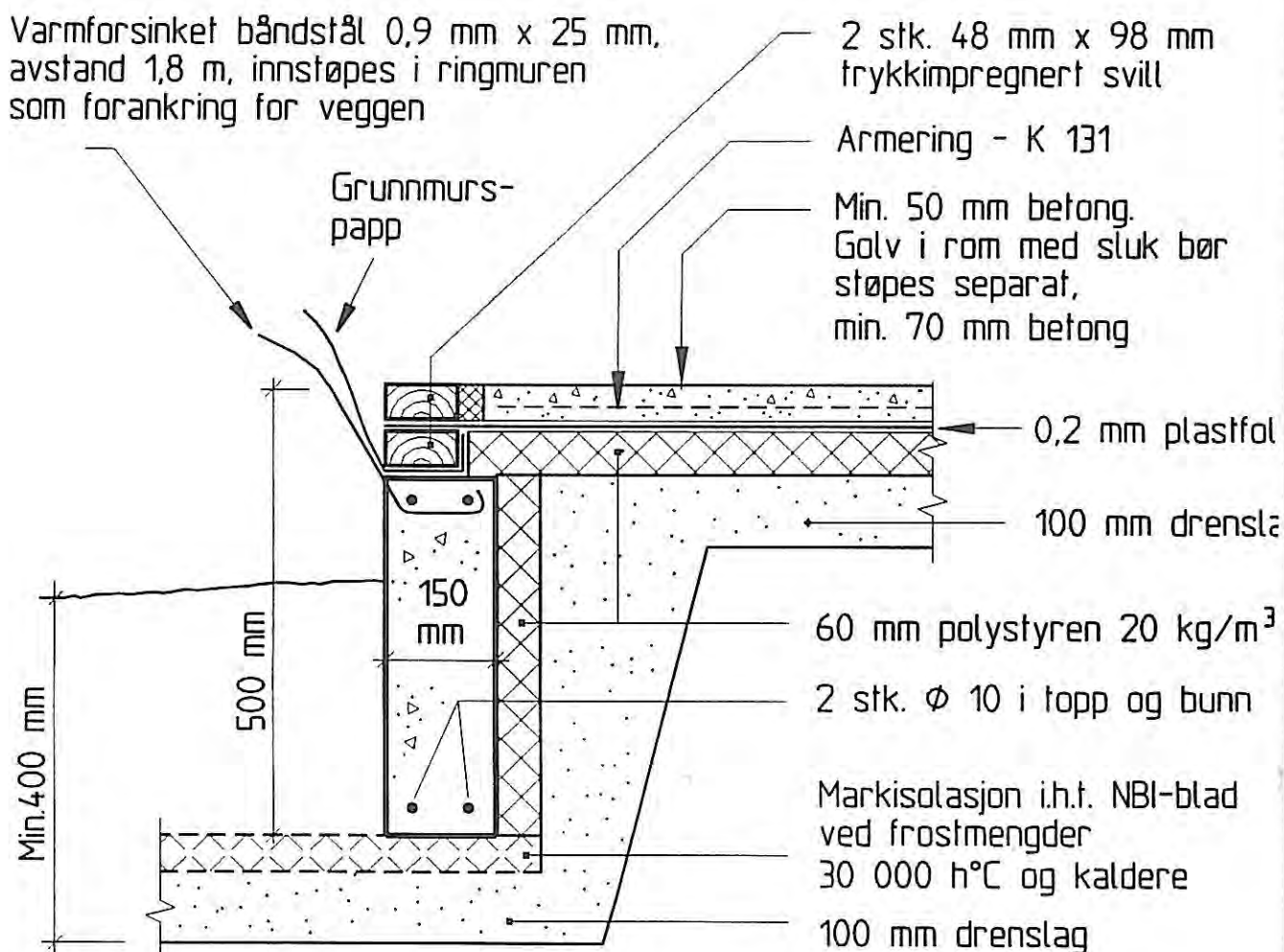


Fig. 431 a.

Eksempel på gulv-på-grunnen-konstruksjon, utført etter dagens byggeforskrift, med U-verdi 0,3 W/m<sup>2</sup>K og frostsikring



#### 433 Frostsikring

På grunn av varmetap fra gulvet til grunnen er det i moderat kaldt klima (frostmengden  $< 30\ 000\ \text{h}^\circ\text{C}$ ) tilstrekkelig å grave ringmuren ned 300 - 400 mm i grunnen for å unngå frostproblemer i telefarlig grunn. I kaldt klima kan det være nødvendig å tilleggsisolere i hjørner og inngangspartier ev. hele ringmurens lengde. Når varmetapet fra gulvet endres radikalt vil disse forutsetningene ikke være til stede. Man må allerede ved beskjedne frostbelastninger foreta en aktiv frostisolering. Det er da viktig å velge en utførelse av frostisoleringen som samtidig gir størst mulig reduksjon i gulvets varmetap. En utvendig ringmursisolasjon kombinert med en markisolasjon er den mest effektive løsningen. Foreløpige beregninger viser at man allerede ved en frostmengde på ca.  $20\ 000\ \text{h}^\circ\text{C}$  må bruke en markisolasjon for å unngå frostproblemer på ringmuren. Selv i ikke-telefarlig grunn er det viktig å forhindre at frosten ukontrollert trenger inn under gulvet. Det kan føre til at utsatte bunnledninger som ligger husets ytre randsone kan fryse. For godt isolerte gulvkonstruksjoner i kaldt klima kan det da være snakk om isolasjonsbredder over 1,0 m for å frostsike fundamentet. Da frostsikring av fundamenter har store tekniske og økonomiske konsekvenser, vil arbeidet med å utvikle dimensjoneringsgrunnlaget for en optimal frostsikring bli ført videre.

#### 434 Lett gulvkonstruksjon

Som alternativ til et tradisjonelt betonggulv kan man bruke en lett flytende gulvkonstruksjon. Man unngår dermed lang uttørkingstid og fuktproblemer som kan oppstå med tett gulvbelegg på fuktig betong. I fig. 431 b er 150 mm isolasjon lagt direkte på et avrettet grus/pukkklag. Isolasjonen er lagt i to lag der det øvre laget har størst trykkstyrke for å sikre en god lastfordeling og beskjedne nedbøyning under punktlaster. Isolasjonsskjøtene er utført med fals eller not og fjær på alle sidene. Over isolasjonen er det lagt 0,2 mm plastfolie som overlapper veggens dampsperre og sikrer lufttetthet i overgangen vegg/ringmur. Som overgulv kan det f.eks. brukes gulvsponplater med not og fjær på alle sider der skjøtene limes ved montering. Nødvendig tykkelse på sponplaten vil være avhengig underlages trykkstyrke og hvilket krav som settes til nedbøyningens størrelse.

For lette, flytende gulv er det vanlig å regne at gulvet har en tilfredsstillende stivhet når en punktlast på 1 kN med lastflate 25 mm Ø gir en nedbøyning mindre enn 1,5 mm. Hjørner og kanter vil ha størst nedbøyning. Med bruk av 50 mm tykke  $30\ \text{kg/m}^3$  ekspandert polystyren som toppisolasjon, vil man oppnå en meget god stivhet med bruk av 22 mm tykke gulvsponplater. Hvis man bruker en kantavstivning, viser målinger at 12 mm tykke sponplater kan gi tilfredsstillende stivhet. Allerede 50 - 80 mm inn fra platekanten vil kanteffekten med redusert stivhet være tilnærmet eliminert. Bruk av så tynne sponplater vil imidlertid stille store krav til underlagets planhet. Vi vil derfor

anbefale å bruke noe tykkere gulvsponplater. Arbeidet med å videreutvikle lette gulvkonstruksjoner vil bli ført videre.

#### 44 Yttervegger

Resultater i praktiske konstruksjoner når det gjelder kostnadseffektive høysisolerte vegg- og takkonstruksjoner, har vært relativt beskjedene. Det vanlige er å øke isolasjonstykkelsen for å tilfredsstille byggeforskriften eller markedet, og for øvrig bruke tradisjonelle byggetekniske løsninger. Primært er konstruksjonene utviklet for å tåle de lastene som kan bli påført konstruksjonen. Deretter har man forsøkt å varmeisolere og vindtette konstruksjonene etter beste evne. Dette har ofte ført til kuldebroer og problemer med vindtettingen. Når det stadig stilles krav til mer isolasjon, vil dette lett føre til statisk overdimensjonering av konstruksjonene.

Isolasjonstykkelsen 200 mm (mineralull) er en praktisk og økonomisk øvre grense for bruk av vanlige trestendere i bindingsverket. Da isolasjon er relativt rimelig sett i relasjon til veggens bæresystem, bør veggen prinsipielt bygges opp så man unngår en overdimensjonering av veggens statiske bæreevne. Avhengig av veggoppbyggingen vil en isolasjonstykkelse på 200 mm kunne gi en U-verdi for ytterveggen på 0,18 - 0,22 W/m<sup>2</sup>K. Denne forskjellen i U-verdi vil for en vanlig enebolig i husbankstørrelse bety en forskjell i varmetap på ca. 500 kWh/år. Dette er relativt betydelig og viser at det er lønnsomt å bygge veggen slik at man får størst mulig effekt av veggtykkelsen. Utvendig papp vindtetting kan f.eks. erstattes av porøse trefiberplater, samtidig som man kan bruke stendere uten kuldebroer. Det har liten hensikt å øke veggtykkelsen ytterligere da det kommer inn sekundære kostnader som tap av boligareal, tilleggskostnader ved vindusomramming osv. Samtidig vil effekten av å øke isolasjonstykkelsen når det gjelder varmetapet avta med økt isolasjonstykkelse, se fig. 44.



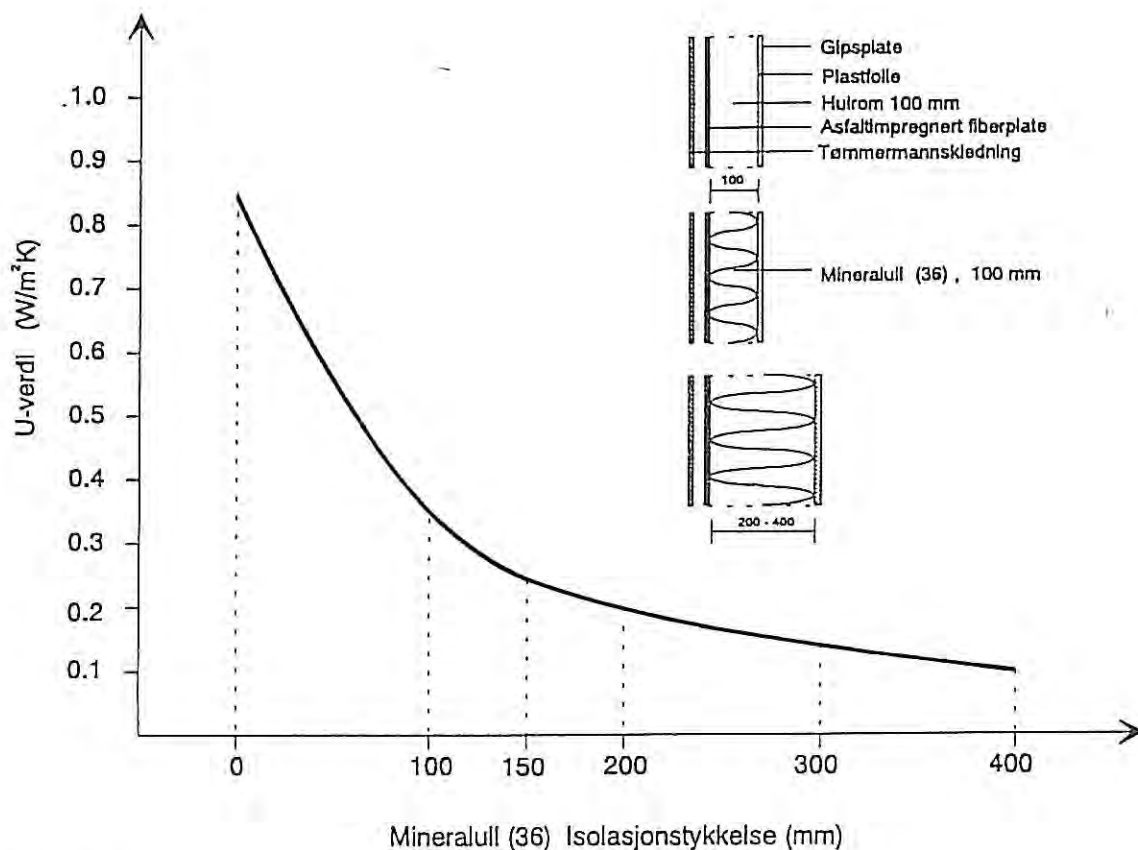


Fig. 44.

Effekten av å øke isolasjonstykkelsen når det gjelder å redusere veggens U-verdi (varmetap) avtar med isolasjonstykkelsen

Oppbygging av veggen bl.a. for å unngå kuldebroer fra gjennomgående stendere og statisk overdimensjonering kan gjøres på forskjellige måter, se Byggforskserien, byggdetaljer G 472.325. Det vil forenkle oppbyggingen, isolasjonsevnen og damp tettheten av ytterveggen vesentlig hvis man mest mulig unngår tekniske installasjoner i ytterveggene. Dette gjelder generelt for hele klimaskjermen. Alternativet er f.eks. å bruke åpne elektriske anlegg i klimaskjermen, gjerne systemløsninger i tilknytning til gulvlist e.l.

#### 45 Tak

I forhold til en vegg er det normalt enklere og rimeligere å øke tykkelsen på takisolasjonen. Det er imidlertid relativt marginale energibesparelser å oppnå ved å øke isolasjonstykkelsen utover 250 mm (mineralull). Denne isolasjonstykkelsen kan gi en U-verdi ned mot 0,15 W/m²K. Om denne isolasjonstykkelsen skal brukes på hele takflaten eller bare deler av denne, vil være avhengig av takkonstruksjonen. Som for veggkonstruksjonen er det prinsipielt viktig å unngå statisk overdimensjonering av takkonstruksjonen. Når man ligger med isolasjonstykkelser i området 200 - 250 mm, vil

forskjellen i energitap ved at deler av taket har noe mindre isolasjon være beskjedent, se fig. 44 og Byggforskserien, byggetaljer G 472.325. Taket er den bygningsdelen det er viktigst og samtidig vanskeligst å damp- og lufttette. Under taket har man de høyeste temperaturene og dermed det høyeste overtrykket. Det er derfor viktig å utarbeide detaljløsninger som sikrer god lufttetthet i tillegg til takkonstruksjonens øvrige funksjoner.

#### 451 A-takstoler

Hvis det legges hovedvekt på at takkonstruksjonen skal være mest mulig energi- og kostnadseffektiv, vil det være en fordel med en takkonstruksjon som gir minst mulig samlet overflateareal mot kald sone, se fig. 451. Ved normal innredning av loftetasjen gir dette løsninger med A-takstoler og isolerte knevegger der man ev. kan ha uoppvarmede boder som buffersone mot kalde overflater. Bruk av A-takstoler er imidlertid en relativt komplisert konstruksjon når det gjelder å oppnå en god damp- og vindtetting. Dette gjelder særlig ved overgangen mellombjelkelag/knevegg. Det kan derfor være en fordel å isolere taket helt ned til raftet og sløfse isolasjon i mellombjelkelag og knevegg, fig. 451.

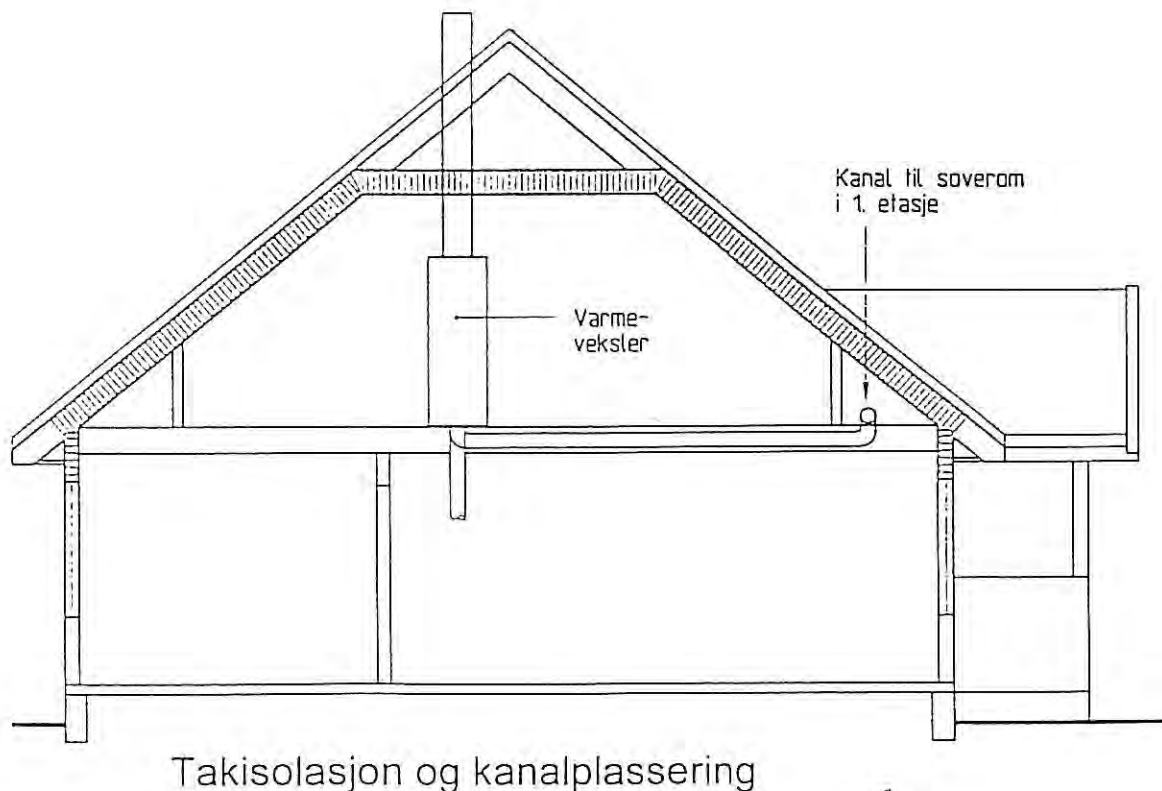


Fig. 451.

Prinsippskisse. A-takstol uten isolerte knevegger.

### 452 Isolert sperretak

Bruk av isolert sperretak er en løsning som er relativt enkel å isolere og samtidig oppnå en god vind- og dampetting, se fig. 452. Isolasjonstykkelsen er 250 mm. Man får da et kontinuerlig isolasjonssjikt mellom veggen og taket og unngår isolasjon i deler av mellombjelkelaget som ved bruk av A-takstoler og isolerte knevegger. For å unngå problemer med dampetting ved bruk av mønedrager, kan man ev. bygge taket opp med bruk av trekantrammer uten innvendig bæring. Her kan det være aktuelt å bruke I-profiler eller andre typer taksperreer med kuldebrytere for å forenkle oppbyggingen og unngå statisk overdimensjonering. Denne isolasjonsformen vil øke klimaskjermens overflateareal og oppvarmet volum. Man bør derfor i prinsippet utnytte dette oppvarmede tilleggsvolumet til å plassere kanaler her.

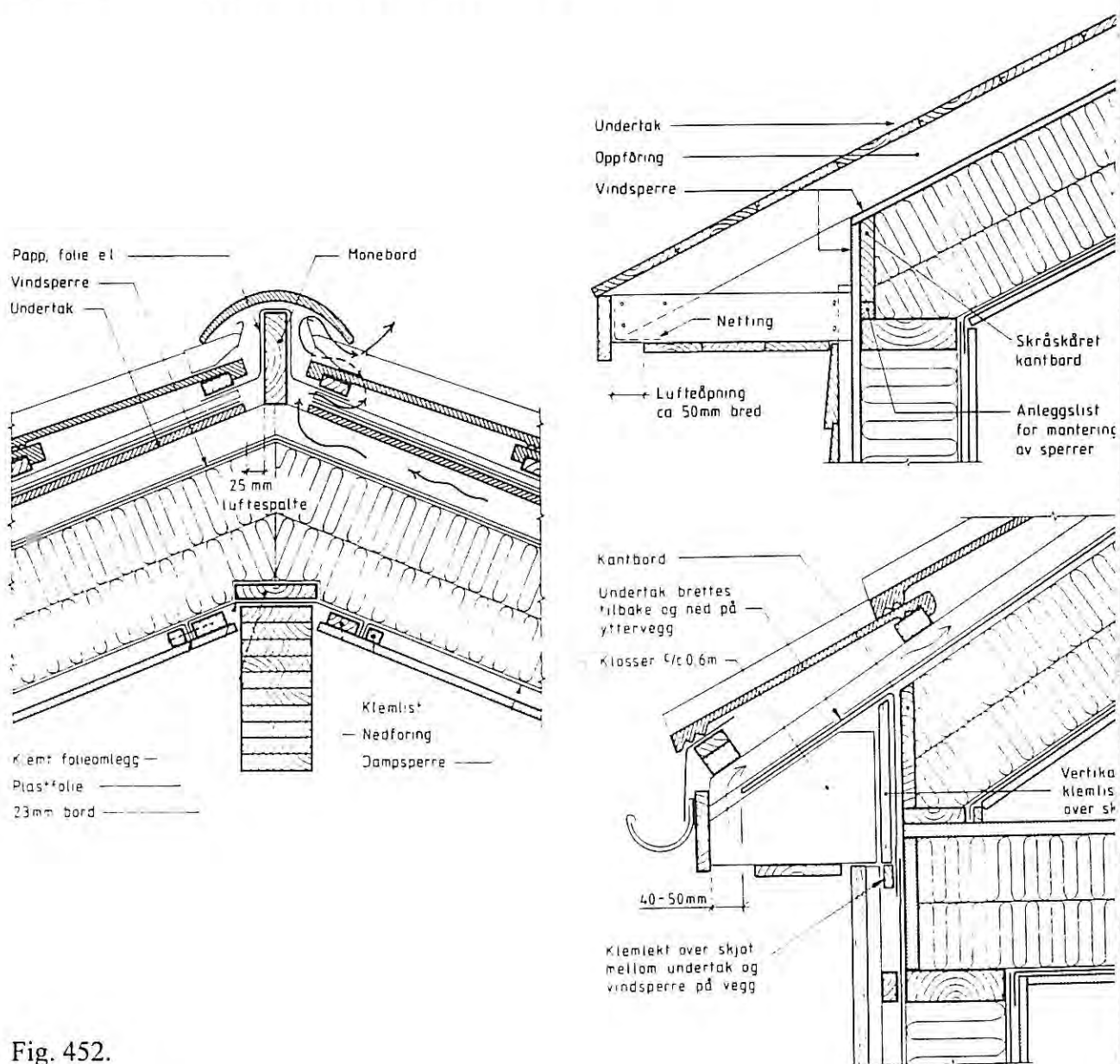


Fig. 452.

Detaljer i isolert sperretak

### 453 Utvendig isolering

Figur 453 viser en prinsipløsning av en takoppbygging av et skrått tretak med utenpåliggende plastisolasjon. Dette er også en løsning der man unngår alle former for kuldebroer og som er relativt enkel å damp- og vindtette. Ekstrudert plastisolasjon som det kan være aktuelt å bruke, har lavere varmeledningsevne ( $0,03 \text{ W/mK}$ ) enn mineralull ( $0,036 \text{ W/mK}$ ). Isolasjonstykkelsen kan derfor reduseres fra 250 mm til ca. 210 mm og man opprettholder samme U-verdi. Som et alternativ til ekstrudert polystyren bør man i prinsippet også kunne bruke noe rimeligere trykksterk ekspandert polystyrenisolasjon. Tak med utvendig plastisolering er under utprøving. Imidlertid er konstruksjonen relativt kostbar da man ikke i tilstrekkelig grad utnytter isolasjonsmaterialenes styrkemessige egenskaper. Arbeidet med å utvikle nye godt isolerte takkonstruksjoner vil bli ført videre.

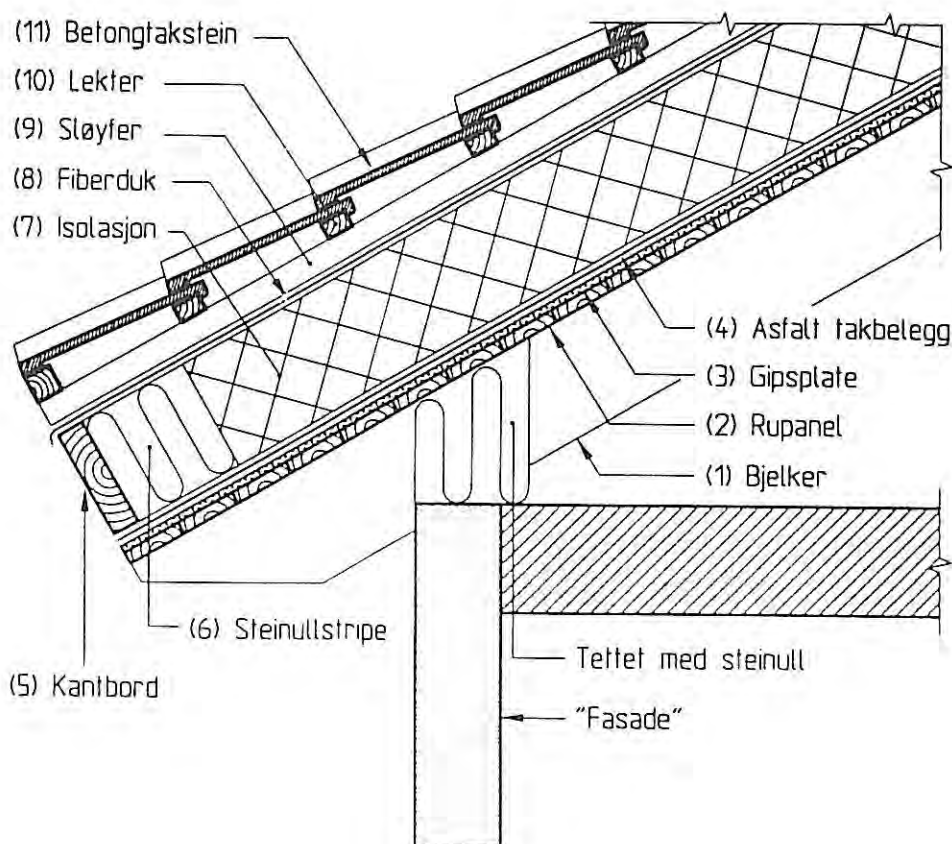


Fig. 453.

Prinsipskisse. Takoppbygging med utvendig plastisolasjon på et skrått tretak

## 5 PLANLØSNING

### 51 Hovedprinsipper

Plassering av kalde og varme rom i boligen vil ha innvirkning på energiforbruket. Kalde rom (boder, soverom o.l.) bør plasseres mot yttervegger og da fortrinnsvis mot nord. Varme rom bør ideelt sett plasseres sentralt i boligen eller mot syd. God tilgang på dagslys reduserer behovet for kunstig belysning. Dagslys bør prioriteres i rom for mer varig opphold. Baderom kan utføres uten vinduer. Valg av planløsning for en lavenergibolig er også viktig for å oppnå et godt inneklima på en energi- og kostnadseffektiv måte. Dette kan i prinsippet bare oppnås ved at planløsning og klimatekniske anlegg ses i sammenheng.

### 52 Planløsningsprinsipp

Prioriterer man et lavt energibehov kombinert med lave kostnader, kan dette gå på bekostning av ønsket om størst mulig fleksibilitet i boligutformingen og planløsningen. Utfordringen er derfor å finne et kompromiss der alle hensyn er ivaretatt på en tilfredsstillende måte. Man bør i utgangspunktet også kunne akseptere ukonvensjonelle løsninger som senere ev. kan modifiseres og tilpasses de enkeltes beboeres behov og ønsker. Her vil det igjen være et spørsmål om prioriteringer. Tilleggs kostnader som måtte påløpe for å oppnå godt inneklima og energieffektivitet, bør i prinsippet kunne kompenseres ved en rasjonell planløsning, enkle byggetekniske løsninger og redusert energibehov.

#### 521 Varm kjerne

Figur 521 viser en prinsippskisse for en planløsning som kan danne grunnlag for å oppnå et godt inneklima, energieffektivitet og god økonomi. Prinsippskissen viser en sentralt beliggende varm kjerne med plassering av installasjoner og våtrom. Det er en fordel om baderommet hvor man ønsker å holde noe høyere temperatur, er sentralt plassert i boligen uten direkte kontakt med yttervegger. Varme kan da tilføres tilstøtende rom og ikke tapes ut gjennom yttervegger. Ved bruk av gulvvarme i baderommet, vil varmetapet til grunnen reduseres vesentlig uten bruk av tilleggsisolasjon når baderommet ligger innenfor husets ytre randsone.

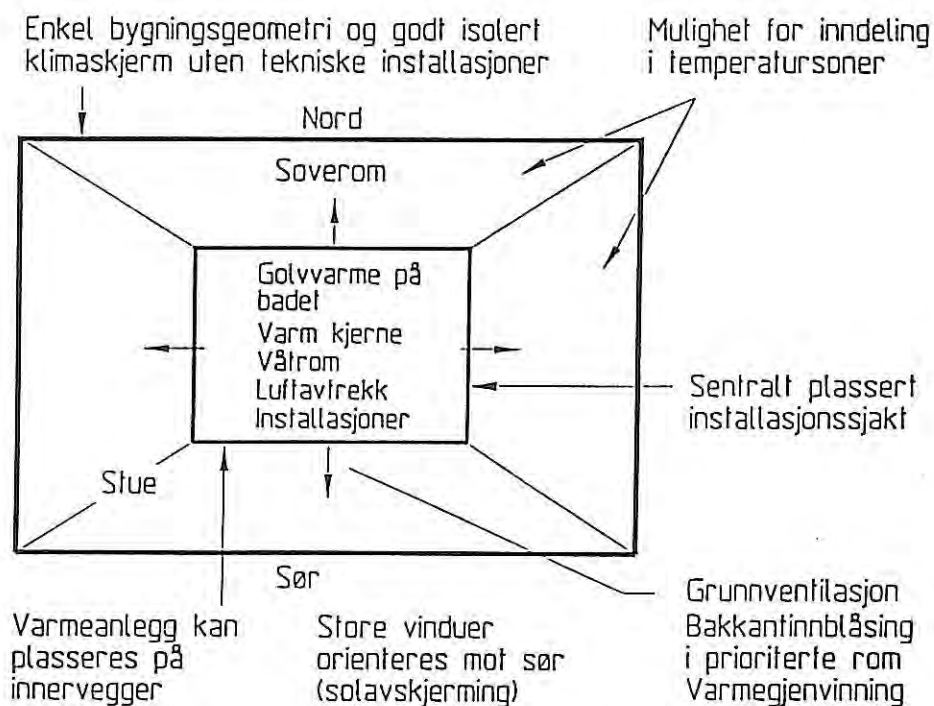


Fig. 521.

Prinsipper i en kost- og energieffektiv planløsning, der forholdene samtidig er lagt til rette for å oppnå et godt inneklima. Planløsningen har en sentral varm kjerne med installasjonssjakt.

### 522 Installasjonssjakt

Selv om det ikke er hensiktsmessig å bruke av en varme kjerneløsning, kan det likevel være nyttig å anlegge en installasjonssjakt. En konsentrering av de tekniske installasjonene bør om mulig prioriteres for bl.a. å sikre godt inneklima uten for store kostnader. Det er samtidig viktig at det avsettes plass i planen til nødvendig installasjoner. Alle installasjoner som krever tilsyn, må være lett tilgjengelige. Ved å bruke konsentrerte våtromsseksjoner oppnås flere fordeler. Installasjonene vil da relativt enkelt kunne samles og tilknyttes en felles installasjonssjakt. Man får en konsentrert avtrekksone for ventilasjonsluften i boligen. Avtrekksluften tilføres avtrekksseksjonen via spalter over eller under dører ev. overluftsventiler uten bruk av kanaler. Ved bruk av balansert ventilasjon kan tilluftskanalene gjøres korte ved bakkantinnblåsning av ventilasjonsluft til rom der man vil tilføre frisk primærluft. Planløsningen med sentral installasjonssjakt gir også mulighet for en enkel installasjon av sentralt støvsugeranlegg som ytterligere kan bidra til å sikre boligen et godt inneklima. En konsentrasjon av installasjonene og bruk av installasjonssjakt, muliggjør prefabrikkerte vannskadesikre

løsninger for vann- og avløpsnett. En fornuftig planløsning der forholdene legges til rette for rasjonelle installasjoner vil kunne gi betydelige kostnadsreduksjoner.

### 523 Temperatursoner

En effektiv måte å redusere energibehovet til oppvarming på er å holde temperaturen så lav som mulig. Dette kan oppnås uten å redusere komforten til beboerne ved å inndele boligen i soner med ulik temperatur. Planløsningen bør gjøre det mulig med forskjellige temperatursoner der soverom i prinsippet er plassert mot nord og har isolerte innervegger og stue mot syd. Spesielt varme rom, f.eks. bad, bør plasseres sentralt i boligen. Disse prinsippene vist i fig. 521 forutsetter boliger på ett plan, og kan i modifisert grad overføres til andre boligtyper og tomtesituasjoner. Selv med et åpent trapperom og soveværelser plassert i 2. etasje, er det mulig å opprettholde en viss temperatursoning. Man kan også redusere temperaturer i de ulike sonene når de ikke er i bruk. Veiledende komforttemperaturer er f.eks. 23 °C på badet, 21 °C i stue og kjøkken, og 18 °C i soverom. I lengere perioder når rommene ikke er i bruk, kan temperaturen reduseres til 12 - 15 °C. En generell temperatursenkning er normalt bare aktuelt hvis man er bortreist over et lengere tidsrom under fyringssesongen. På grunn av et beskjedent varmebehov vil absolutt energigevinst ved bruk av nattsenkning være relativt liten. Hurtig oppvarming av en avkjølt bolig under mer dimensjonerende klimaforhold vil kreve betydelig effekt fra det ordinære varmeanlegget. For å unngå for stor overdimensjonering av det ordinære varmeanlegget, kan det være hensiktsmessig å supplere med en vedovn som kan brukes under ekstreme klimaforhold.

## 6 INSTALLASJONER

Fra å utgjøre nærmest ingenting ved århundreskiftet utgjør installasjonene i dag i moderne boliger 30 - 40 % av byggekostnadene. Dette er en andel som vil øke med innføring av ny byggeforskrift med skjerpet krav til inneklime og energieffektivitet. Når det gjelder installasjonskostnader, må det skilles mellom primære og sekundære kostnader. Primære kostnader omfatter direkte kostnader til selve installasjonene mens sekundærkostnadene omfatter bygningstekniske tiltak for å tilpasse installasjonene i konstruksjonen. Sekundære installasjonskostnader blir ofte tillagt generelle byggekostnader uten å belaste selve installasjonen. For eksempel kan sanitær-, el- og installasjoner i tilknytning til ventilasjon og varmeanleggene komplisere og forsinke framdriften for de bygningstekniske arbeidene. Skal man i praksis oppnå rasjonelle installasjoner i boliger, er dette også et spørsmål om valg av føringsveier, byggetekniske løsninger og produksjonsteknisk planlegging. Kostnadseffektive installasjoner vil derfor være løsninger som gir minst mulig byggetekniske bindinger og kan integreres i konstruksjonen på en naturlig måte uten omfattende tilleggsarbeider.

Nøkkelen til en mer rasjonell boligbygging og energiøkonomisk klimatisering av boligene ligger derfor i samordning der installasjoner, bygningsform, arkitektur og byggetekniske løsninger er en syntese av form og teknikk. Da driftsutgiftene i stor grad er knyttet til installasjonene, bør design, bygging og drift ses i sammenheng. Føringsveiene og plassering av klima-, el og sanitærtekniske installasjoner må være et resultat av samarbeid mellom de forskjellige partene i byggeprosessen. Her vil kostnader, fleksibilitet, enkelhet og estetiske hensyn være viktige faktorer. Dette går på forhold som valg og plassering av varmeanlegg som er direkte avhengige av bygningens utforming og isolering, innpassing av ventiler for tilførsel og avtrekk, plassering av lysarmatur sett i sammenheng med arkitektoniske løsninger for å utnytte mest mulig dagslys, passiv solvarme etc. Det er samtidig viktig å utvikle systemløsninger for installasjonene som gjør at man kan unngå å legge installasjoner i klimaskjermen etc. Dette kan f.eks. bety åpne eller utskiftbare systemløsninger for el- og sanitærinstallasjoner etc. Da de tekniske installasjonene har vesentlig kortere levetid enn bygningskonstruksjonen, bør det utvikles prefabrikkerte installasjonsvegger og sjakter ev. våtrom for samordning av tekniske anlegg med tanke på enkel utskiftning og enkelt vedlikehold, se fig. 63.

### 61 Varmeanlegget

Varmeanleggets primære funksjon er å kompensere for husets varmetap til omgivelsene i fyringssesongen og sikre tilfredsstillende temperaturforhold i boligen. Det er samtidig



viktig å velge en type varmeanlegg som oppfyller disse kravene best mulig. En vesentlig bedre isolert klimaskjerm betyr at lavenergiboligen får et redusert varmebehov. Dette bør gjøre det mulig å forenkle varmeinstallasjonene samtidig som plasseringen kan gjøres mer fleksibel.

### *611 Temperaturkontroll*

Energi- og kostnadseffektive løsninger forutsetter individuell og god temperaturkontroll i de enkelte rommene. For en godt isolert bolig vil innvendig overflatetemperatur på klimaskjermen være betydelig høyere enn vanlig. I lavenergiboliger kan internvarmen fra personer, utstyr og lys i lange perioder være tilstrekkelig til å opprettholde varmebalansen uten tilskudd fra varmeanlegget. Da boligen er blitt mer følsom for tilskuddsenergi fra lys, utstyr, personer, sol osv., krever det en effektiv temperaturregulering. En absolutt forutsetning for at et varmeanlegg skal være energieffektivt, er at man har en god temperaturstyring. Direkte elektrisk oppvarming med panelovner er på mange måter en ideell oppvarmingsmetode med desentralisert varmetilførsel. Man får en god og rask individuell temperaturstyring i rommene, det er enkelt å opprettholde temperatursoner mellom ulike rom. Ovnene kan styres individuelt og sentralt. For elektriske panelovner betyr dette en enkel effektstyring. Det er ikke alltid behov for å ha full temperatur i alle sekundærommene. Det er betydelig energigevinster å hente ved å bruke en form for soneinndeling når det gjelder romtemperaturene. En annen fordel ved elektriske panelovner er at disse normalt dimensjoneres med en viss forseringseffekt som kan utnyttes hvis man ønsker en hurtig oppvarming. Det er en viktig egenskap ved fleksibel bruk av sekundærommene.

### *612 Temperaturstyring*

De fleste leverandører har panelovner som kan påmonteres en eller flere ulike former for lokal og/eller sentral programstyring. De lokale styringsmodulene, sparepluggene eller plugg-in-timerene kan ha forskjellige typer programmer. De enkleste er rene "on/off" eller termostatstyrte panelovner uten noen form for tidsautomatikk. Mer vanlig er det etter hvert blitt med elektroniske termostater med natt- og helgesenkning samt en rekke andre program.

For sentral styring av elektriske panelovner er det flere systemer. De fleste må ha separate ledninger for styring av ovnene, men det finnes system som benytter husets ledningsnett til å regulere ovnene. I prinsippet plugges bare styringsutstyret (sentraltstyringsenheten) til en stikkontakt og systemet er klart til bruk. På hver av panelovnene er det en mottaker som enten plugges inn i ovnen eller en mottaker som får

plass i en eksisterende koplingsboks for andre merker av varmeovner eller for elektriske apparater som en ønsker å styre.

Et sentralt styringssystem for temperaturregulering kan være en lønnsom investering. Erfaringer viser at man med en sentral temperaturstyring har en potensiell mulighet hvert år å spare opp mot 10 % av energiforbruket til oppvarming. Sentrale styringsenheter kan styre inntil 12 soner (enheter) som varmeovner, utebelysning, ventilasjon, varmekabler på badet, alarmer, motorvarmere osv. For en bolig vil dette normalt være tilstrekkelig for å håndtere alle tekniske installasjoner i boligen. Disse 12 kanalene programmeres individuelt og uavhengig av hverandre på timebasis. Energisparepotensialet vil da kunne økes betydelig. Avgjørende for bruk av disse systemene er at de er enkle å betjene.

### *613 Plassering av varmeovner*

Bruk av vinduer med lav U-verdi gjør det unødvendig å plassere varmeovnene under vinduer av normal størrelse for å forhindre kaldras. For relativt høye vinduer kan det stadig være aktuelt å kompensere for et økt varmetap med å tilføre noe varme under vindet. Forholdet mellom vinduets U-verdi og kaldras er belyst nærmere i *bilag 1*.

### *614 Gulvvarme og overflatetemperatur*

Kalde gulv unngås ved å ha godt isolerte og gjerne lette gulvkonstruksjoner uten kuldebroer i randsonen. En vanlig gulvkonstruksjon med 60 mm tykk gulvisolasjon vil i Oslo klima ha et varmetap over året på ca. 33 kWh/m<sup>2</sup>. Ved å bruke 150 mm tykk gulvisolasjon (lavenergiboligen) reduseres varmetapet til ca. 14 kWh/m<sup>2</sup>. For en lavenergibolig vil dimensjonerende varmebehov ligge mellom 40 - 45 W/m<sup>2</sup>. Hvis boligen er utstyrt med gulvvarme, vil høyeste overflatetemperatur på gulvet ligge på ca. 25 °C. Dette gjelder under dimensjonerende forhold f.eks. med utelufttemperatur - 20 °C. Under mer normale uteluftstemperaturer vil boligens varmebehov være tilfredstilt med en overflatetemperatur på gulvet som bare ligger 2 - 3 grader over gjennomsnittlig lufttemperatur i rommet. Ved bruk av lett, godt isolert gulv med ubetydelig varmetap til grunnen, vil gulvets overflatetemperatur ligge nær lufttemperaturen. Rent komfortmessig vil dette gulvet ligge på linje med gulvet med gulvvarme. Hvis man bruker samme isolasjonstykkelse for gulvet med gulvvarme, vil dette derimot ha større varmetap til grunnen.

Bruk av lett gulvkonstruksjon er særlig gunstig i soverom i vinterhalvåret der man i Norge gjerne ønsker å holde noe lavere døgnmiddeltemperaturer enn i den øvrige boligen. Man ønsker samtidig hurtig temperaturutjevning om morgenen. En tyngere gulvkonstruksjon kan ha noen effekt når det gjelder å begrense overtemperaturer om

sommeren ved direkte solinnfall. Denne effekten er imidlertid relativt beskjeden og vil også være avhengig av typen gulvbelegg. Med mindre man har tilgang på rimlig varmt vann, vil gulvvarme i gulv-på-grunnen være en relativt kostbar løsning.

Gulvvarme basert på elektriske varmekabler egner seg godt i baderom der man gjerne ønsker varme gulv. Dette betyr gulvtemperaturer på 30 - 32 °C. Dette gir samtidig høyere lufttemperatur. For å redusere varmetapet til grunnen er det viktig å tilleggsisolere badegulvet med gulvvarme eller unngå å plassere dette i husets randsone. Denne tilleggsisolasjonen må regnes med som en del av kostnadene til gulvvarmeanlegget.

## 62 Ventilasjonsanlegget

Ventilasjonsanleggets primære funksjon er å sikre at boligen har tilstrekkelig tilgang på frisk luft på en energieffektiv måte, minst mulig risiko for byggeskader og god totaløkonomi. Løsningen på et luftkvalitetsproblem er ikke alltid mer ventilasjon. Det bør primært løses ved å gjøre noe med kilden til ev. forurensing. Tilsvarende forhold gjelder for boligens renhold. Det er under prosjekteringen av boligen at man legger grunnlaget for at forurensingskilder ikke skal oppstå. Kriterier for utforming av ventilasjonsanlegget for å nå denne målsettingen kan f.eks. være:

- Lave lufthastigheter (støysvak trekkfri lufttilførsel, anlegg med lavt trykktap)
- Energieffektivitet (liten vifteenergi, luftmengder tilpasset behovet)
- Mulighet for filtrering av tilluften
- Kostnadseffektive løsninger (unngå omfattende kanalnett, minst mulig arealkrevende installasjoner som integreres i bygningskonstruksjonen)
- Vedlikeholdsvennlig anlegg (aggregater og kanaler plasseres i varm sone, aggregater og kanaler er lett tilgjengelige)

Ventilasjonstapet kan med dagens isolasjonsstandard utgjøre ca. 40 % av samlet energitap fra en bolig. Det forutsettes da mekanisk avtrekksventilasjon uten varmegjenvinning. I en tett godt isolert bolig vil god ventilasjon være en vesentlig forutsetning for å kunne opprettholde et godt inneklima og unngå bygnings-skader. De enkelte rommene bør i en brukssituasjon minst ha en friskluftstilførsel på 7 l/s person, se Byggforskserien, byggdetaljer A 552.301. Tilførsel av frisk luft må samtidig skje på en energieffektiv måte. Energieffektive boliger forutsetter derfor en form for behovstyrt ventilasjon med varmegjenvinning fra ventilasjonsluften. Her vil bruk av balansert ventilasjon og varmevekslere være gunstig idet vi relativt enkelt og effektivt kan trekke varme av avtrekksluften for forvarming av tilluften. Samtidig har man mulighet for en

effektiv filtrering av tilluften. En forutsetning for å oppnå et kostnadseffektivt balansert anlegg, er å unngå et omfattende kanalnett. Bruk av andre systemløsninger for å gjenvinne varme fra avtrekksluften, f.eks. ved hjelp av avtrekksvarmepumpe, vil bare utnytte deler av varmeinnholdet i inneluften under vinterforhold med lave utelufttemperaturer og stort effektbehov. Da avtrekksvarmepumpen normalt er koblet sammen med varmtvannsberedningen, forutsetter det at anlegget er i drift hele året.

### *621 Behovstyrt ventilasjon*

Behovstyrt ventilasjon betyr at man har en viss mulighet for å variere luftmengdene etter behov. Det har ingen hensikt å overdimensjonere luftmengdene som vil føre til økt ventilasjonstap og vifteenergi uten at man oppnår tilsvarende forbedring i inneklime. Man kan tvert imot få uønsket uttørking av inneluften. Når boligen ikke er i bruk, vil det være behov for en minimumsventilasjon. Dette er nødvendig for å unngå kondens og konsentrasjon av forurensinger i luften. Det er derfor viktig å bruke bygningsmaterialer og inventarer med lave emisjoner. Skal et ventilasjonsanlegg fungere tilfredsstillende i en bolig, må driftsikkerhet, komfort og brukervennlighet prioriteres. Kostnadseffektive løsninger forutsetter lave anleggs-, drifts- og vedlikeholdskostnader. Avgjørende for ventilasjonstapet og varmegjenvinnerens økonomi, er beskjedne luftlekkasjer (infiltrasjon) gjennom utettheter i klimaskjermen. Skal man få full nytte av et balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning, bør infiltrasjonen ikke være større enn 0,1 luftvekslinger i timen. Lekkasetallet  $n_{50}$  bør derfor være mindre enn 1.

### *621 Systemløsninger*

Det finnes en rekke systemløsninger for ventilasjonsanlegg som er egnet i boliger, se Byggforskserien, byggdetaljer A 552.345 og **bilag 2**. Felles for anleggene er at de består av en varmegjenvinnerenhet, vifter, filtre, kanaler og lydfeller. Alle komponentene krever plass samtidig som de skal være lett tilgjengelig for service og vedlikehold. Både fordelingskanaler og aggregater bør plasseres innenfor klimaskjermen. Når boligen utstyres med en form for balansert ventilasjon med varmegjenvinning fra ventilasjonsluften, er det ofte en forutsetning at luftavtrekket og lufttilførselen er samlet. Dette kan lett føre til en mengde kanaler for luftfordeling i boligen. Her vil imidlertid plassering av aggregater, planløsning og ventilasjonsprinsipper være avgjørende både for funksjon og kostnader. Det må avsettes plass til aggregater og kanaler allerede på planleggingsstadiet. Kostnadseffektivitet forutsetter bl.a. at man i størst mulig grad unngår lange kanalføringer inne i boligen. Anlegget bør samtidig ha lavt trykkfall (lave lufthastigheter) for å redusere støy og vifteenergi. Lave trykkfall krever igjen større kanaldimensjoner. Ventilasjonsanlegget må derfor planlegges sammen med resten av bygget og integreres i boligens planløsning.

Kjøkkenhetter skal være utstyrt med et effektivt fettfilter og bør ha en egen vifte som trekker luften ut gjennom en veggventil eller kanal over tak. Forutsetningen er at denne bare skal være i bruk i korte perioder. Dagens kjøkkenhetter har da også et støynivå som ikke innbyr til langvarig bruk.

### 622 Filter

Ved å trekke friskluften inn samlet er det relativt enkelt å filtrere tilluften. Man oppnår da å rense uteluften for partikkulær forurensing og beskytte anlegget mot nedsmussing. Felles for friskluftfiltres funksjon, enten de er av membrantypen eller elektrostatiske, er at de med visse mellomrom må skiftes eller rengjøres. Generelt må filtre derfor være lett tilgjengelige. For å holde trykkfallet i anlegget så lavt som mulig er det viktig at filtret i ren og tilsmusset tilstand har så lav motstand som mulig. Elektrostatiske filtre har mindre motstand enn tekstile sperrefiltre. Også avtrekksluften filtreres normalt før den passerer varmeveksleren. Fornuftig plassering av gode filtre vil redusere behovet for rengjøring av tilluftkanaler. Dette kan i vesentlig grad forenkle driften av anlegget.

### 623 Sentralt støvsugeranlegg

Bruk av en sentral installasjonssjakt gjør det mulig på en enkel måte å installere sentralt støvsugeranlegg som ytterligere kan bidra til å sikre boligen et godt inneklima.

### 63 Kabelanlegg

En bolig har et relativt omfattende kabelnett. I tillegg til elkabler har vi kabler både for telefon og fjernsyn. Kabelnettet kan utføres på flere prinsipielt forskjellige måter. I dag er det relativt vanlig å legge et skjult anlegg med utstrakt bruk av trekkør. Ideelt sett bør anlegget utføres slik at det er mest mulig fleksibelt. Det betyr at det er enkelt å utvide, skifte ut kabler etc. uten større bygningstekniske arbeider eller som kan påvirke klimaskjermens funksjon. Skal man oppnå fleksible løsninger som samtidig skal være kostnadseffektive, krever dette et systematisk opplegg der man på forhånd har lagt forholdene til rette for utvidelser. Størst mulig fleksibilitet kan oppnås ved å bruke en kombinasjon av åpent og skjult anlegg.

For å sikre en enkel oppbygging av klimaskjermen med full utnyttelse av isolasjonsmaterialer og vindtetting, bør man mest mulig unngå kabelinstallasjoner inne i klimaskjermen (gulv, vegger, tak). Her kan man f.eks. bruke åpne systemløsninger gjerne plassert i tilknytning til gulv- eller taklister. Man oppnår da samtidig stor fleksibilitet ved senere supplering og komplettering av anleggene. Tradisjonelt utførte skjulte anlegg blir ofte åpne etter første ommøblering da kontakter og lampepunkter må

endres. Bruk av innervegger og mellombjelkelag som føringsveier for tekniske anlegg er gunstig og påvirker ikke boligens energibalanse. Det bør derfor tilstrebes å plassere en vesentlig del av kabelanlegget i tilknytning til innervegger.

### **63 Sanitærinstallasjoner**

Vann- og avløpsinstallasjoner i tilknytning til våtrom er et område som krever spesiell omtanke. Her vil også renhold og vannskadesikker utførelse kunne påvirke utførelsen. Med installasjoner i flere etasjer er det også viktig å velge føringsveier og utførelse av avløpsrørene så man kan unngå problemer med støy. Bruk av prefabrikkerte systemløsninger med installasjonsvegger (ikke bærende), kjøkkeninnredninger med innlagt opplegg for vann, avløp, lys og ventilasjon kan være en aktuell løsning.

Kostnadseffektive løsninger krever en konsentrering av vann- og avløpsinstallasjonene. Hovedinstallasjonene kan f.eks. samles i en sjakt med utstyrstilknytninger over gulvnivå, se fig. 63. Ved å bruke en sjaktløsning oppnår man vesentlige forenklinger i anleggsfasen. Ved å ha ett hovedoppstikk unngår man problemer med unøyaktig plasserte oppstikk, samtidig som man har en langt større fleksibilitet ved senere endringer, påbygginger etc. Dette vil gjelde for alle installasjoner med hovedoppstikk plassert i en sentral sjakt. Samtidig skal rørføringen og installasjonene være slik montert at man oppnår vannskadesikker utførelse.

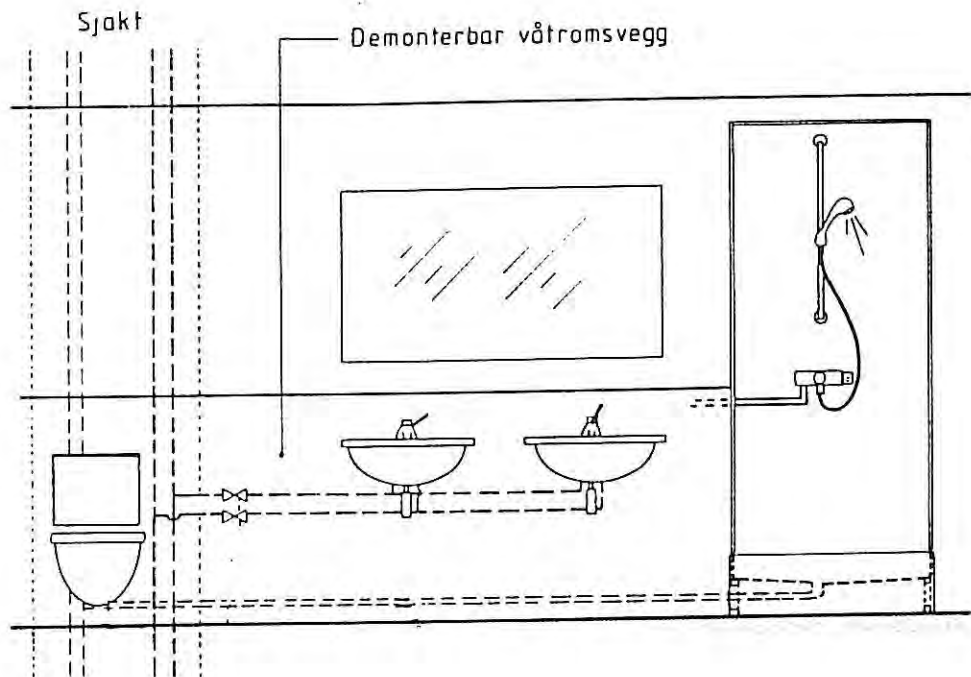


Fig. 63.

Eksempel på badertom med installasjonsvegg der alle rørføringer ligger over gulvplanet og tilsluttes en felles sjakt

### 631 Vannskadesikker utførelse

Et hovedprinsipp ved vannskadesikre installasjoner er at lekkasjer i ledninger, skjøter og koblinger ikke skal føre til skader på bygningskonstruksjonen. Her er det særlig skjøter og koblinger som er sårbare. Et annet hovedprinsipp ved vannskadesikre installasjoner er at alle ledninger enkelt skal kunne skiftes ut. Ledningsnettet må derfor planlegges med god tilgjengelighet.

Bunnledninger for vann og avløp er det vanlig å utføre uten mulighet for utskiftning. Da vannledninger normalt utføres i plast, er det imidlertid relativt enkelt å legge forholdene til rette for en utskiftning også her. Man kan f.eks. legge vannrøret i varerør eller sørge for å legge et tomt varerør ved siden av vannrøret. For vannrør som tilkobles flere boliger, bør utskiftningsmulighet være obligatorisk.

Når det gjelder spillvannsledningen, finnes det metoder for å kunne rehabilitere dette røret uten oppgraving. Å legge spillvannsledningen inne i et varerør er ingen god løsning. På grunn av stadig vekslende vanntemperaturer er det en fordel at røret er

fiksert i omfyllingsmassene. Det vil ellers kunne oppstå skader på røret eller støy på grunn av rørekspansjonen. Generelt bør man bruke bunnledningsmaterialer med gode, vel dokumenterte materialegenskaper. Samtidig er det viktig å legge minst mulig bunnledninger. Det oppnår man ved å samle våtromsinstallasjonene i boligen, eller legge avgreningene over gulvplanet med et oppstikk for vann- og avløpsledningen. Disse oppstikkene bør igjen tilknyttes et sjaktsystem for å få en oversiktlig og vannskadesikker utførelse. Forutsetningen er at det er tatt hensyn til rasjonelle føringsveier i planløsningen, og at man kan leve med de ev. bindingene man da får. Vannskadesikker utførelse kan f.eks. oppnås ved følgende tiltak:

- Ledninger mellom eller utenfor våtrommene legges i varerør eller i sjakt. Lekkasjevann fra ledningene vil da ikke gå inn i konstruksjonene, men enten bli ført tilrom med sluk eller direkte i grunnen.
- Ledninger i våtrom legges skjult i installasjonslister eller -skap i badetrommet eller kjøkkenet der man kombinerer fordelene med åpne og skjult anlegg. Lekkasje oppdages raskt, og det er enkelt å skifte komponenter eller utvide anlegget.
- Lekkasjevann f.eks. fra oppvaskmaskiner skal ledes ut på gulvet, og ikke inn i veggen. Dette krever at et vanntett gulvbelegg føres opp på vegg bak maskinen.

### *632 Varmegjenvinning av grått avløpsvann*

Grått avløpsvann kan utnyttes til forvarming av det varme forbruksvannet. Figur 632 viser prinsippet for en magasinvarmeveksler som kan legges i eller under gulvisolasjonen. Varmerveksleren er utformet slik at kaldt vann kan passere varmeveksleren uten å blande seg med varmere vann. Potensialet for varmegjenvinning vil være avhengig av vanntemperaturen og forbruksmønstret og vil ligge på 30 til 50 % av energien til produksjon av varmt tappevann. Dette kan for en normal bolig utgjøre fra 1 000 til 1 500 kWh/år. 60 til 70 % av denne energien vil gjenvinnes i vinterhalvåret med lave vanntemperaturer. Varmegjenvinneren må utstyres med et enkelt mekanisk system for rengjøring.



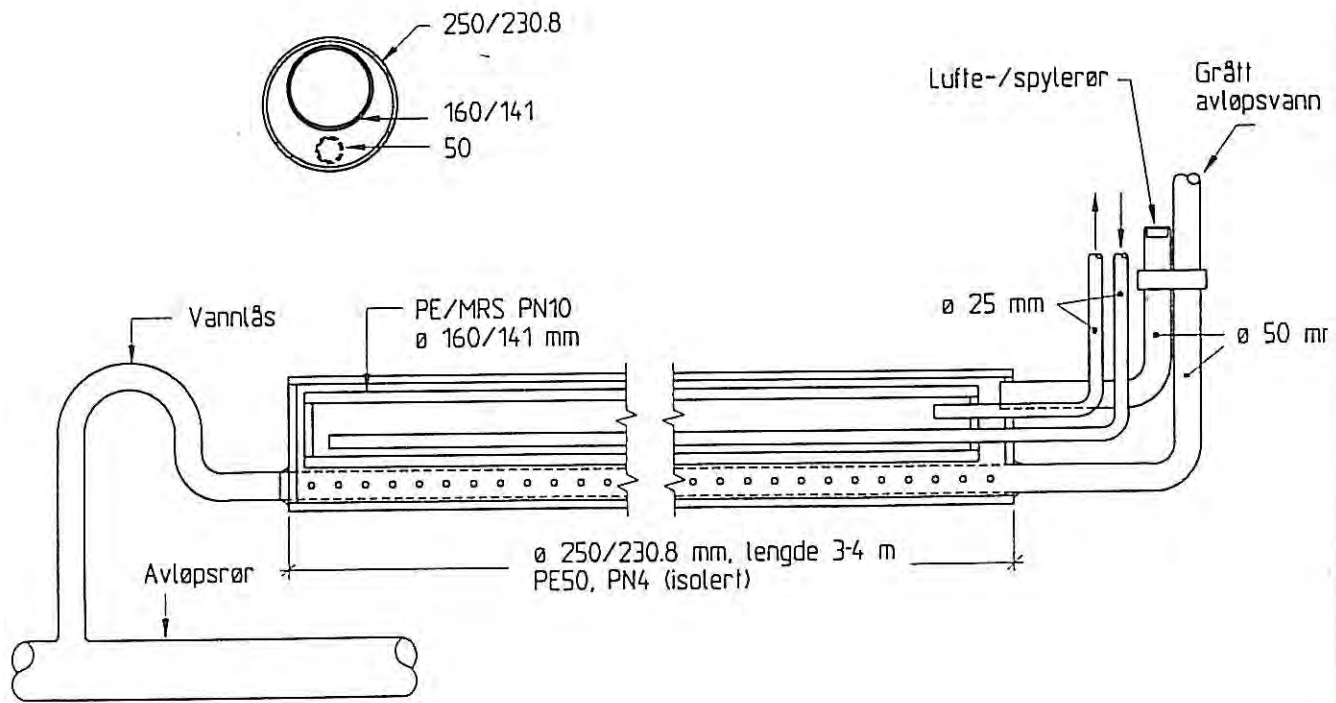


Fig. 632.

Prinsippskisse. Gråvannsvarmeveksler for plassering under gulvet i boligen. Ytterrøret isoleres hvis dette ikke legges i tilknytning til gulvisolasjonen.

## 7 EKSEMPEL PÅ EN ENERGI- OG KOSTNADSEFFEKTIV BOLIG

### 71 Hustype og fasader

Figur 71 a og b viser planløsning og fasader på en 1 ½ etasjes frittliggende enebolig. Boligen er utviklet med bakgrunn i kriterier angitt i kapittel 2. Det er lagt vekt på at boligen skal ha et tradisjonelt utseende som kan tilpasses en vanlig norsk bebyggelse. Boligen tilfredsstillter Husbankens areal- og kostnadsrammer og har livsløpsstandard. Grunnflaten er ca. 85 m<sup>2</sup> og totalt bruksareal er 138 m<sup>2</sup>. Boligen er kompakt med lite overflateareal (nær kvadratisk) og har store vindusarealer mot syd for utnyttelse av passiv solvarme til oppvarming. Det er samtidig prioritert dagslys til rom for mer varig opphold. God tilgang på dagslys reduserer behovet for kunstig belysning.

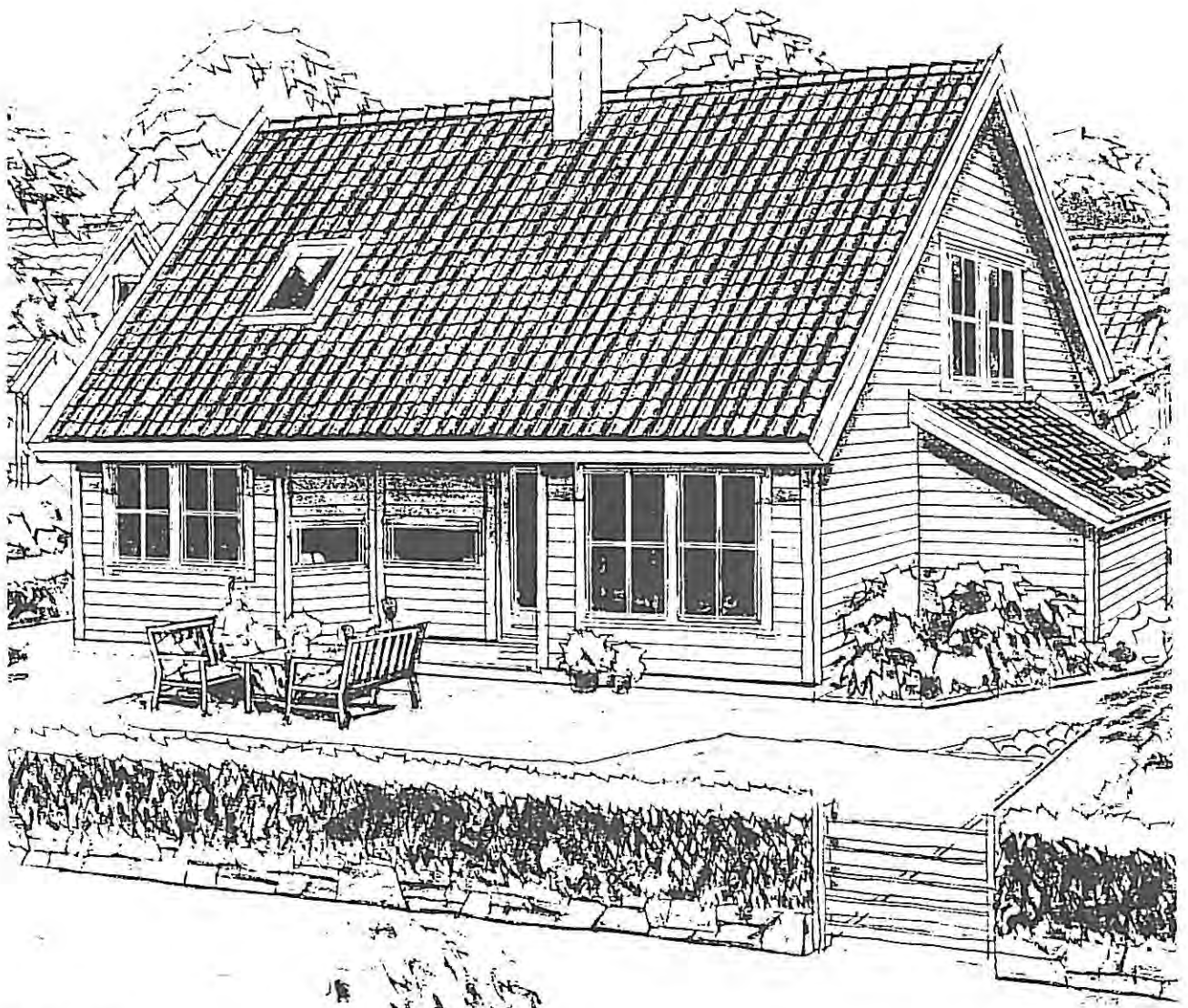


Fig. 71 a.

Syd og østfasaden for en prototyp lavenergibolig. Arkitekt Terje Pedersen, Block Watne A/S og Arne Johnsen, Husbanken

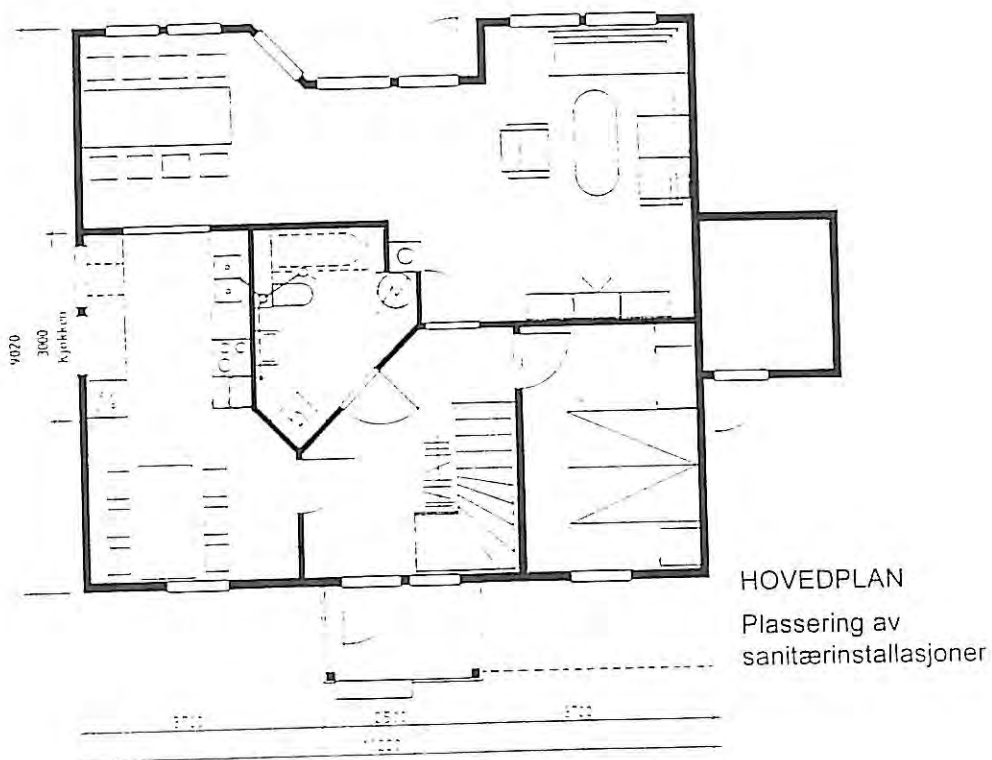
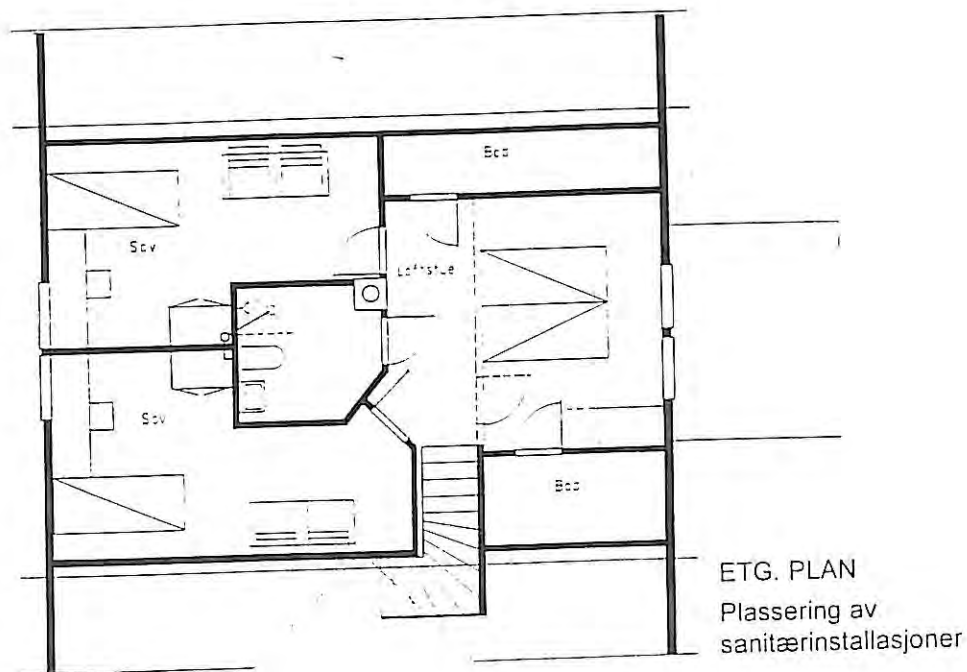


Fig. 71 b.  
Planløsning for en energi- og kostnadseffektiv bolig. Arkitekt Terje Pedersen, Block  
Watne A/S og Arne Johnsen, Husbanken

## 72 Planløsning og installasjoner

Skal man kunne gjennomføre en kvalitetshevning i form av lavt energibehov og godt inneklime og samtidig holde kostnadene nede, er det viktig at boligen er så rasjonelt utført som mulig. Spesiell oppmerksomhet må vies installasjonene som i en moderne bolig utgjør opptil 30 - 40 % av byggekostnadene. Boligens utforming og planløsning har i denne sammenhengen stor betydning både for energibehov og ikke minst kostnader. Vi har derfor valgt å bruke en noe uvanlig planløsning. Boligen har en gjennomgående sentral varm våtromskjerne med en installasjonssjakt. Dette gir en kompakt planløsning der de forskjellige rommene er plassert rundt våtromskjernen, og felles sjakt for tekniske installasjoner. Denne løsningen er valg både for å spare energi og kostnader. God tilgang på dagslys er prioritert til rom for mer varig opphold. Badet er derfor ikke plassert mot yttervegger. Dette sikrer også at overtemperaturer som vi ønsker å ha på badet, ikke tapes ut av kalde yttervegger. Badet i hovedetasjen er utført med gulvvarme. Sentral plassering av badet i boligen gjør at vi ikke får økt varmetap fra gulvet til grunnen.

Sanitærinstallasjonene er konsentrert med bruk av felles installasjonsvegg mellom kjøkken og bad. Denne løsningen gir et rasjonelt opplegg for de tekniske installasjonene med stor mulighet for prefabrikkasjon og enkel vannskadesikker utførelse. Rørføringen kan f.eks. legges åpen inne i kjøkkenbenken. Varmtvannsberederen er plassert på badet der varmetapet fra den kan utnyttes hele året. Skorsteinen er plassert i tilknytning til installasjonssjakt og bereder. Forholdene er dermed lagt til rette hvis man ønsker å bruke bioenergi (ved) til oppvarming også av varmt tappevann.

Bruk av en sentral avtrekk/tilførselssone gjør varmegjenvinning mulig og gir et ventilasjonsanlegg nærmest uten bruk av arealkrevende ventilasjonskanaler.

Planløsningen med en sentralt beliggende installasjonssjakt gir også mulighet for enkel installasjon av sentralt støvsugeranlegg som ytterligere kan bidra til å sikre boligen et godt inneklime.

## 73 Hustype, planløsning og bruksegenskaper

Nærmere analyse av planløsning og bruksegenskaper er angitt i *bilag 3*.

## 8 BYGNINGSKONSTRUKSJON

### 81 Yttervegger

Veggene i prototypboligen skal ha en isolasjonstykkelse på 200 mm. Hvilken veggoppbygging som er mest rasjonell, vil bl.a. være avhengig av produksjonsmetoden. Det er valgt en tradisjonell produksjonsmetode for lavenergiboligen der veggene bygges opp på stedet. Vesentlig for oppbyggingen er at man sikrer vindtetthet og full utnyttelse av veggisolasjonen helst uten kuldebroer. Eventuelle trekkør for skjult elektrisk opplegg og innfelte kontakter på yttervegger vil oppta plass for isolasjon og kunne skade veggens dampsperre. Det er her viktig å velge en utførelse der man unngår skader på dampsperran som for en yttervegg også tjener som en vindtetting.

Det er her vist tre prinsipielt forskjellige veggoppbygginger. Den ene veggen, fig. 81 a, er utført med krysslågt isolasjon 150 mm × 50 mm (stendere 148 mm × 36 mm og 48 mm × 48 mm). Man bryter dermed kuldebroer fra gjennomgående stendere, men samtidig vil veggen inneholde mer treverk som reduserer effekten av tilleggsisolasjonen. Med 12 mm porøse trefiber vindtettplater utvendig er veggens U-verdi  $\approx 0,19$  W/m<sup>2</sup>K. Med bruk av gipsplater utvendig er veggens U-verdi  $\approx 0,20$  W/m<sup>2</sup>K. Dampsperran er trukket 50 mm inn i konstruksjonen for å unngå at den skades fra ev. elektriske installasjoner, se for øvrig Byggforskserien, byggdetaljer G 472.325.

I de andre veggtypene, fig. 81 b og c, er det forutsatt brukt en 198 × 36 stender eller en spesialstender med mer effektiv kuldebryter. For øvrig er det brukt 200 mm isolasjon og porøse trefiberplater utvendig. Veggen med spesialstender har en U-verdi  $\approx 0,18$  W/m<sup>2</sup>K, mens bruk av gjennomgående stender gir  $U \approx 0,19$  W/m<sup>2</sup>K. Ved bruk av gipsplater utvendig økes U-verdien til henholdsvis 0,19 og 0,20 W/m<sup>2</sup>K. Veggen med gjennomgående stendere og krysslågt isolasjon har omtrent samme U-verdi. Under forutsetning av rimelig tilgang på stendere med kuldebrytere, bør veggen med kuldebryter foretrekkes da den gir en enklere oppbygging av veggen med færre arbeidsoperasjoner. Samtidig kan man oppnå en mer optimal statisk dimensjonering av veggen. For å oppnå en rasjonell utførelse og unngå skade på dampsperran, bør tekniske anlegg i dette tilfellet plasseres utenpå veggkonstruksjonen.

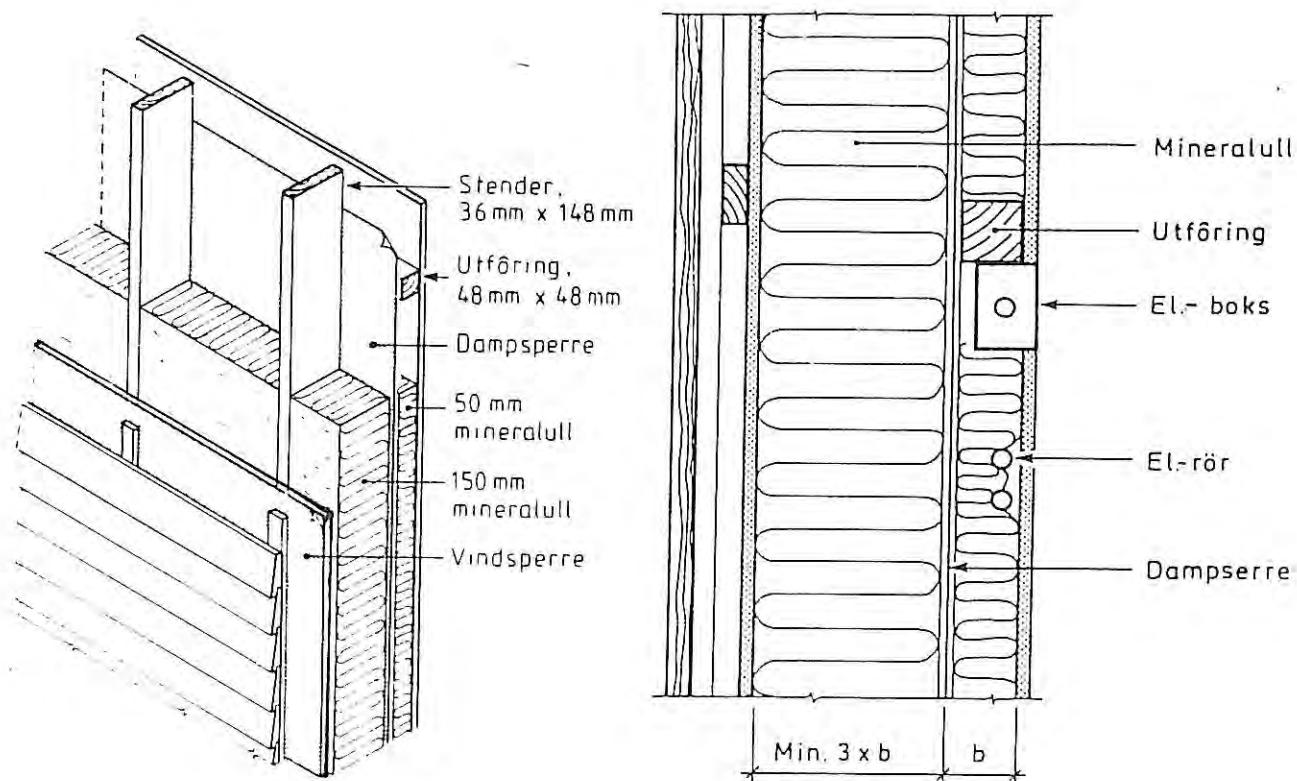


Fig. 81 a.

Veggkonstruksjon med 200 mm isolasjon, stendere med utføring og inntrukket dampspærre og 12 mm asfaltbelagt porøs trefiberplate, U-verdi  $\approx 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$

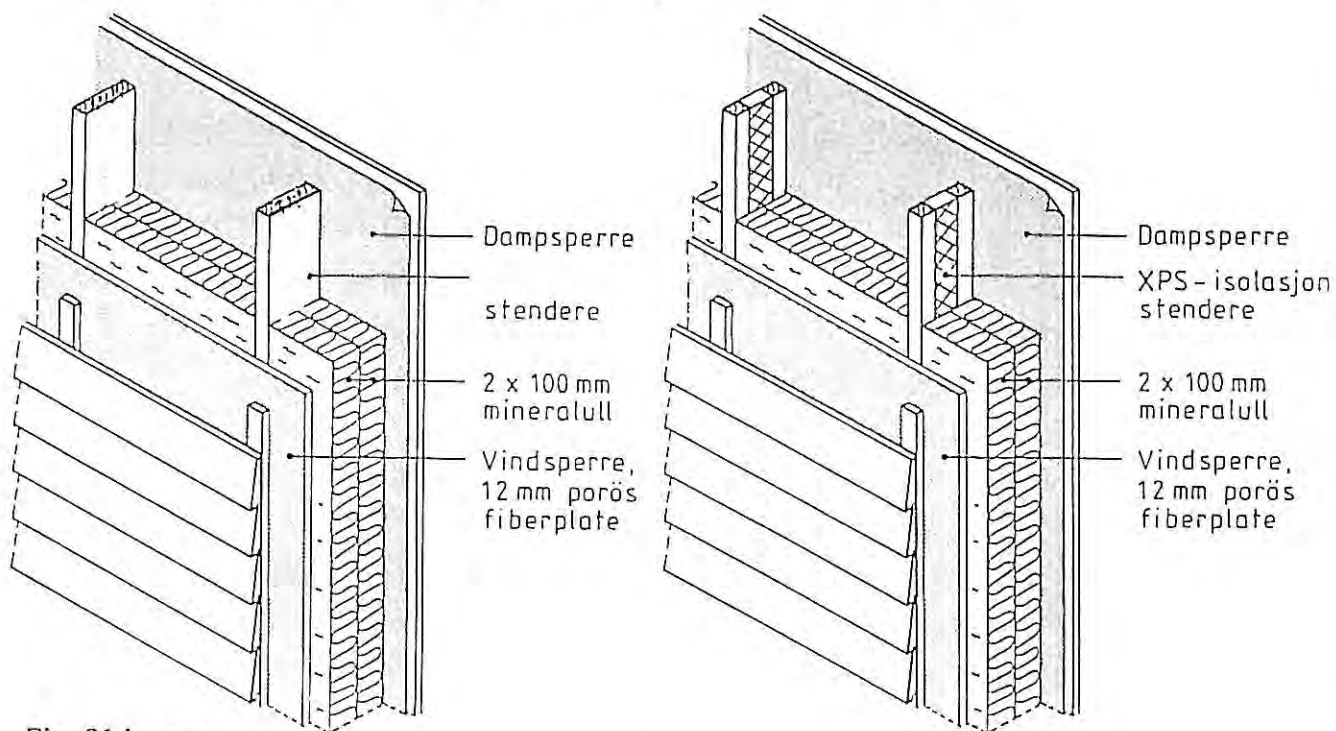


Fig. 81 b og c.

Stendere med og uten kuldebrobrytere, 200 mm isolasjon og 12 mm asfaltbelagt porøs trefiberplate. U-verdi  $\approx 0,19 - 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

### 811 Energi og kostnadsvurderinger

Ut fra en totalvurdering har vi for lavenergiboligen valgt løsningen med krysslagte stendere og inntrukket plastfolie. Valget er gjort til tross for at denne veggen er ca. 5 % (ca. kr 3 500,-) dyrere i produksjon enn bruk av gjennomgående stendere 198 mm × 36 mm. Det er flere gode grunner for at vi i dagens situasjon har valgt løsningen med krysslagt isolasjon. For det første finnes det ikke i dag spesialstendere med kuldebrytere som kan konkurrere i pris når det gjelder den aktuelle veggdimensjonen. Samtidig er stenderdimensjonen 198 mm × 36 mm uhensiktsmessig og har lett for å vri seg. I tillegg er det tradisjon for å bruke skjult elektrisk opplegg. I dag finnes det ikke "åpne" systemløsninger som kan konkurrere når det gjelder elektriske installasjoner i boliger. Når det først skal brukes skjult elektrisk opplegg på yttervegger gir en løsning med inntrukket plastfolie vesentlig bedre sikring mot skader på dampettingen. Bruk av krysslagt isolasjon gir etter samlet vurdering en kvalitetsmessig god vegg.

Økt isolasjonstykkelse fra 150 til 200 mm med den valgte utførelsen, medfører en kostnadsøkning for veggen på ca. 18 %. For den aktuelle boligen og med valgte produksjonsmetode betyr dette en økning i veggens produksjonspris på ca. 11 000 kroner. Energisparepotensialet ved å øke nominell tykkelse på veggisolasjonen fra 150 til 200 mm med reduksjon av U-verdi fra 0,26 til 0,18 W/m<sup>2</sup>K ligger for den aktuelle boligen på ca. 1 063 kWh. For den aktuelle utførelsen med U-verdi = 0,19 W/m<sup>2</sup>K er energidifferansen 925 kWh. Sett over en femårsperiode og med en energipris på 50 øre pr. kWh, vil man kunne tåle tillegg i investeringer i størrelseorden 2 000 kroner. Da en forbedring av veggens varmetap må ses på som en langsiktig investering vil man f.eks i et 20 års perspektiv kunne tåle en tilleggsinvestering på 5 000 til 7 500 kroner. Det er da forutsatt en kalkulasjonsrente på fra 3 % til 7 %. Man vil derfor med dagens energipriser og den aktuelle utførelsen ha problemer økonomisk med å forsvare en økning av isolasjonstykkelsen for ytterveggene fra 150 til 200 mm.

Vi har derfor ikke nådd prosjektets målsetting når det gjelder produksjonskostnadene for ytterveggene. Veggen er statisk overdimensjonert, samtidig som det er mange arbeidsoperasjoner som må utføres. I tillegg er installasjon av skjult elektrisk anlegg lite hensiktsmessig i yttervegger. Det bør imidlertid være gode muligheter for å utvikle en vegg-løsning med U-verdi 0,2 W/m<sup>2</sup>K eller bedre som ikke har vesentlig høyere kostnad enn dagens standardutførelse. Dette er arbeid som vil bli ført videre.

## 82 Vinduer

Da lavenergiboligen er planlagt oppført i Bærum kommune med moderat kaldt vinterklima, vil det totalt sett være optimalt å bruke toglassruter med gassfylling og et lavemisjonsbelegg. Kombinasjonen lavemisjonsbelegg og gassfylling er svært effektivt når det gjelder å redusere et vindus U-verdi. Vi har da to muligheter når det gjelder gassfylling: edelgassene argon eller krypton. I det aktuelle temperaturområdet har argon en varmeledningsevne for stillestående gass på  $0,017 \text{ W/m}^2\text{K}$  og krypton  $0,009 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Ved bruk av argon oppnår man en optimal verdi ved å øke glassavstanden fra 12 til 16 mm. U-verdien for et midtfelt i vinduet vil ligge på ca.  $1,45 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Tilsvarende ved bruk av krypton og 12 mm glassavstand gir en U-verdi på  $1,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ , altså en forbedring i midt felts U-verdien på ca. 10 %.

Når det gjelder U-verdien for selve vinduet, er den avhengig av karmutførelsen. En godt isolert karmutførelse er spesielt viktig for mindre vinduer der karmsonen utgjør prosentvis større del av vindusflaten. For dagens vindusutførelser med argongass og lavemisjonsbelegg kan vi regne med en U-verdi på ca.  $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Dette gjelder for vinduer som kan åpnes. For vinduer i fast ramme er rammedimensjonene mindre samtidig som man unngår luftspalten mellom vindu og ramme. Disse vinduene har derfor lavere U-verdi, ca.  $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ . De store vinduene mot syd har fast ramme. Det gjøres for øvrig oppmerksom på at nyere målinger har gitt noe høyere U-verdier for de omtalte vinduene. Dette har imidlertid liten innflydelse på boligens samlede varmebalanse.

Når det gjelder vinduet med kryptongass, kan vi tilsvarende regne med en U-verdi på ca.  $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  for vinduer som kan åpnes. For vanlige trevinduer er forholdet i dag at større ruter med lavemisjonsbelegg og gassfylling har lavere U-verdi enn mindre vinduer. Målet må være at rammekonstruksjonen er så god at selve vinduet omtrent har samme U-verdi som glassfeltet. Dette må gjøres på en kostnadseffektiv måte. Solfaktoren for vinduene er avhengig av lavemisjonsbelegget for den aktuelle rutetypen 0,72. Ved å erstatte argongassen med kryptongass og dermed redusere vinduets varmetap, vil det gi en reduksjon i energibehov for lavenergiboligen på vel  $300 \text{ kWh/år}$ . Med dagens karmløsninger vil denne investeringen ikke være lønnsom.

Når det gjelder vinduskonstruksjonen, er det foruten vinduets energibalanse ytterligere faktorer som er vesentlig for valg av vindustype. Dette er kaldras, stråling mot kald flate og kondens. Kaldras og stråling mot kald flate er i det vesentlig avhengig av vindusglassets U-verdi. Da rammekonstruksjonen gjerne fører til at vinduets samlede



U-verdi er dårligere enn selve glassflaten, vil rammeutførelsen ha betydning for kondensfaren. Fordi man med toglass vinduer med gassfylling og lavemisjonebelegg har U-verdier for selve glassflaten som ligger i nivået 1,15 - 1,40 W/m<sup>2</sup>K, vil man normalt ikke få problemer med kaldras og kaldstråling. En U-verdi for glassflaten < 1,5 W/m<sup>2</sup>K vil med moderate vintertemperaturer (> -10 °C), være tilstrekkelig til å unngå problemer med kaldras og stråling mot kald flate fra boligvinduer i normal størrelse. Vi forutsetter at det ikke monteres varmeovner under vinduet. Det er imidlertid en relativt flytende grense for når man oppfatter kaldras som et problem. Dette avhenger bl.a. av møbleringen, utforming av vinduskarmen, ventilasjonssystem osv., se *bilag 1*.

Den viste møbleringen som viser en tett plassering i tilknytning til de store vinduene i stuen, gjør at det av komforthensyn kan være gunstig å plassere en varmekilde under disse vinduene. Effekten fra denne kan være relativt begrenset. Denne varmekilden vil også redusere tekkproblemer som ev. kan oppstå når varmeovnene plasseres på innervegger.

På grunn av god ventilasjon i forsøksboligen kan man unngå problemer med innvendig kondens på vinduene. God ventilasjon rundt vinduet oppnås uavhengig av bruk av varmeovn under vinduet. Normalt vil en varmeovn under vinduet føre til høyere overflatetemperatur på innerglasset og dermed økt varmetap. For vinduer med svært lave U-verdier, dvs.  $\leq 1,2$  W/m<sup>2</sup>K, vil man også kunne få kondens på utsiden. Utvendig kondens opptrer gjerne tidlig om morgnen ved høy relativ luftfuktighet, i stille kaldt vær, og fører til ugjennomsiktige vinduer.

Toglassruter har gunstigere solfaktorer som betyr større tilgang på passiv solvarme, er vesentlig lettere og dermed rimeligere å produsere og montere enn treglassruter. En lett vinduskonstruksjon for vinduer som kan åpnes gir også en mindre belastning på hengslene. For å kunne utnytte en høy solfaktor bør det legges vekt på å plassere boligen i terrenget så man oppnår direkte solbestråling under fyringssesongen med lav solhøyde. Med Oslo klima vil den valgte vindustypen med argongass plassert på sydfasaden, ha samme energibalanse som en vegg med U-verdi 0,18 - 0,19 W/m<sup>2</sup>K. Det betyr at man i prinsippet kan øke vindusarealet mot syd for å få bedre tilgang på dagslys uten at dette fører til et større energibehov. Derimot vil dimensjonerende effekt økes noe. Denne effektøkningen er beskjedent og kan dekkes inn av varmeanlegget som normalt utføres med en viss forseringseffekt, som ligger over dimensjonerende effekt under stasjonære forhold.

## 821 Energi og kostnadsvurderinger

Ved å forbedre dagens standardvinduer med et lavemisjonsbelegg med ruter med økt glassavstand og gassfylling (argon), oppnår man en reduksjon i vinduets U-verdi fra ca. 1,9 til ca. 1,6 W/m<sup>2</sup>K. Det er samtidig forutsatt at rutene har samme type lavemisjonsbelegg som gir en solfaktor på 0,72. Dette gir en forskjell i lavenergiboligens energibehov på ca. 800 kWh. Effektreduksjonen under dimensjonerende forhold ligger på ca. 300 W. I et fem års perspektiv vil vi kunne tåle en tilleggs kostnad på ca. 1 800 kroner. Bedre vinduer er også en langsiktig investering, og ved å se investeringene over en 20 års periode vil man kunne tåle tilleggs kostnader på vel 4 500 til 6 000 kroner med en antatt energipris på 50 øre/kWh og en kalkulasjonsrente på 3 - 7 %. Siden tilleggs kostnadene i boligproduksjonen ved å montere bedre vinduer ligger på ca. 2 000 kroner, er dette en investering som kan forsvares. Det bør da også tas i betraktning at man med gode vinduer står friere i plassering av varmeovner, med mulighet for enklere og mer rasjonelt opplegg for varmeovnene med bl.a. kortere tilførselskabler. I tillegg vil man redusere mulighetene for kondens som igjen kan føre til følgeskader.

I kaldt klima kan det være hensiktsmessig å forbedre vinduets U-verdi ytterligere, f.eks. kan man bruke toglassruter med krypton gass. Vinduer med krypton er mindre vanlig og noe dyrere enn vinduene med argon. Med økt etterspørsel etter denne rutetypen vil sannsynligvis prisforskjellen bli mindre. Ovennevnte viser at ved valg av rutetype er det viktig ikke ensidig å fokusere oppmerksomheten på energigevinsten. Viktige egenskaper som også må legges til grunn for valg av vindusruter er reduserte sekundærkostnader, at kondensskader blir forhindre og at komforten forbedres.

## 82 Tak

Det er forutsatt en U-verdi for takkonstruksjonen på 0,15 W/m<sup>2</sup>K som gir en gjennomsnittlig isolasjonstykkelse på ca. 250 mm mineralull. For forsøksboligen er det valgt å bruke en relativt tradisjonell oppbygging av takkonstruksjonen. Det er forutsatt brukt modifiserte A-takstoler der taksperrene er isolert fra raft til hanebjelke uten bruk av isolasjon i mellombjelkelaget, se fig. 451 og Byggforskserien, byggdetaljer A 525.102. Kneveggen som er uisolert, kan settes opp etter at dampsperreren er montert. Denne konstruksjonen er valgt da den er relativt enkel å lufttette. Konstruksjonen gir også mulighet for en omfordeling av isolasjon i taksperrer og himling. Det er f.eks. enklere å isolere himlingen samtidig som man unngår å redusere romvolumet. Rom bak uisolerte lette knevegger kan brukes til kott, og kan sikre frostfri plassering av ventilasjonskanaler. I dette tilfellet vil det i takkonstruksjonen bli brukt samme prinsipløsning som i ytterveggene ved å føre ned taksperrer og himling innvendig og

trekke dampspærren innenfor nedføringen. Man unngår da skader på dampspærren ved bruk av skjult elektrisk anlegg. Tradisjonelt er det brukt en påføring med elektrikerlekter 36 mm × 48 mm. Det er for øvrig brukt lufting over vindspærren og under takstein som ved tradisjonell utførelse.

### 821 Energi- og kostnadsvurderinger

Tilleggskostnadene i forhold til tradisjonell utførelse er begrenset til 50 mm økning i isolasjonstykkelsen. Tillegg i produksjonskostnadene for å redusere U-verdien fra 0,20 til 0,15 W/m<sup>2</sup>K ligger på 5 000 til 6 000 kroner. Tillegget avhengiger av utførelsen idet man har mulighet for omfordeling av isolasjon mellom taksperrer og himling. Energibesparelsen ligger på ca. 600 kWh/år. Det viser relativt stor ubalanse mellom energigevinst og merkostnader.

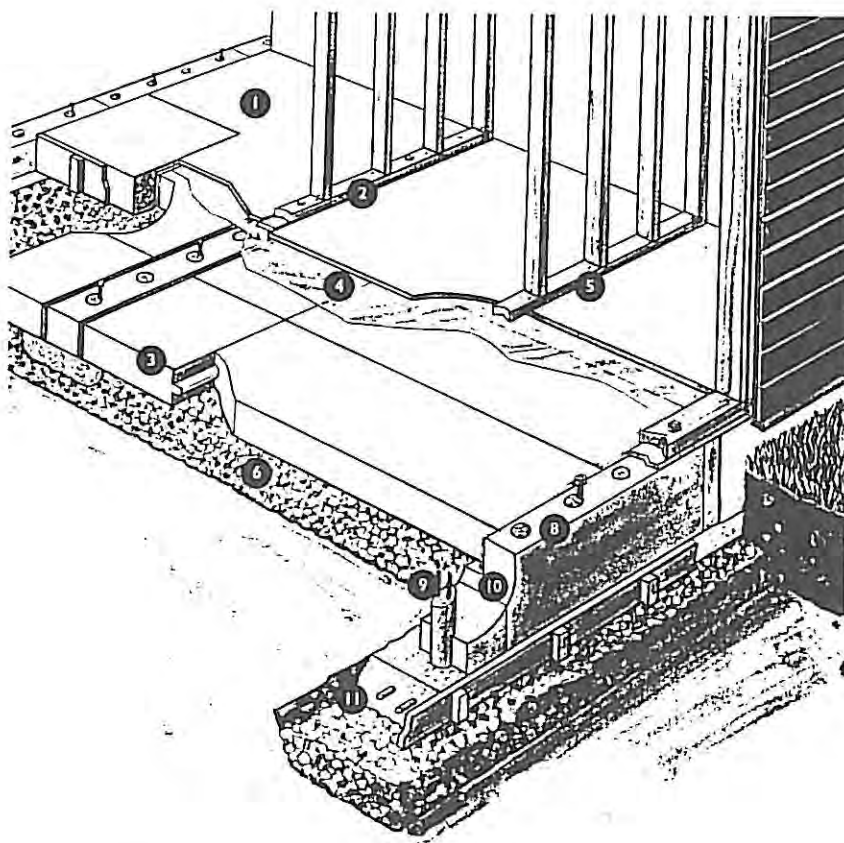
Også i dette tilfellet bør det være mulig å utvikle mer kostnadseffektive takkonstruksjoner som samtidig har en U-verdi ≤ 0,15 W/m<sup>2</sup>K. Det kan f.eks. være aktuelt å bruke en kombinasjon av innvendig og utvendig isolasjon. Utvikling av en energi- og kostnadseffektiv takkonstruksjon som samtidig har en tilfredsstillende funksjon, er arbeid som vil bli ført videre.

### 83 Gulv på grunnen

Boligen skal utføres med gulv-på-grunnen uten kjeller. Det er forutsatt brukt 150 mm tykk gulvisolasjon. Denne isolasjonstykkelsen kombinert med et spesielt ringmurselement uten kuldebroer og markisolasjon gir konstruksjonen i fig. 83 en gjennomsnittlig U-verdi på 0,13 W/m<sup>2</sup>K. Gjennomsnittlig U-verdi for en randsone på en meter ligger på 0,18 W/m<sup>2</sup>K. Markisolasjon brukes bare når grunnen er telefarlig. Uten frostisolering vil gjennomsnittlig U-verdi for gulvet være 0,14 W/m<sup>2</sup>K. Som fundament for ringmurselementet er det brukt en avrettet betongsåle med to eller fire armeringsjern. Tykkelsen og antall armeringsjern for denne avrettingen er avhengig av grunnens stabilitet.

Kostnadseffektiv boligbygging forutsetter kort byggetid. Det er derfor en fordel å unngå betonggulv som krever lang uttørkingstid. Boligen er derfor utstyrt med en lett flytende gulvkonstruksjon. Det innebærer at gulvisolasjonen er lagt direkte på et avrettet komprimert underlag av finpukk og sponplater er lagt direkte oppå isolasjonen. Gulvisolasjonen er lagt ut i to lag, og det er brukt isolasjonsplater med not og fjær på alle sider. Isolasjonsplatene er lagt slik at man ikke har gjennomgående skjøter. Direkte på pukkmassene er det lagt 100 mm tykk EPS-isolasjon i kvalitet 20 kg/m<sup>3</sup>, og over denne 50 mm tykk EPS-isolasjon 30 kg/m<sup>3</sup>. Mellom isolasjon og sponplater er det brukt

0,2 m tykk plastfolie. Det er brukt 22 mm tykke vannfaste gulvsponplater med not og fjær på alle sider og limte skjøter. For å unngå fuktproblemer er sponplatene lagt etter at bygget er lukket. Over sponplatene er det brukt parkett eller gulvbelegg. Sokkelement og gulvisolasjonen danner dermed et sammenhengende isolasjonssjikt. Ved å bruke en godt isolert lett gulvkonstruksjon som vist i fig. 83, vil man være sikret høye gulvtemperaturer også i en randsoner. Med bruk av 150 mm isolasjon i en lett gulvkonstruksjon uten kuldebroer i randsonen, vil man få et gulv som komfortmessig kan sammenliknes med bruk av gulvvarme. En lett gulvkonstruksjon vil være meget behagelig å gå på og ha egenskaper som et idrettsgulv som er utført med en liten svikt.



- |  |   |
|--|---|
| 1 Vannbestandige sponplater.                       | 8 Betongsøyler som forankres i betongfundamentet.   |
| 2 Bærevegg som hviler på betongsøyler.             | 9 Armering.   |
| 3 Isolasjonsplater.                                | 10 Ramme av isolasjonsmateriale med hull for betong |
| 4 Plastfolie på EPS-plater fungerer som fuktsperre | 11 Betongfundament.                                 |
| 5 Lettvegg   |   |
| 6 Selvdrenerende steinmasse.                       |   |

Fig. 83.

Prinsippskisse. Lett gulvkonstruksjon uten betong og kuldebroer

### 831 Baderomsgulv og gulvvarme

Av komfort hensyn er det brukt gulvvarme i baderommet i underetasjen. Det er valgt en tradisjonell utførelse med varmekabler innstøpt i betong og fliser. Da badegulvet er utført med sluk og fall, vil betongtykkelsen variere fra 72 til 50 mm. I badegulvet på grunnen kan det brukes ekstrudert polystyren isolasjon (XPS) for å kompensere for redusert isolasjonstykkelse. I dette tilfellet der badegulvet har beskjeden størrelse og ligger sentralt i boligen, vil tillegget i varmetap til grunnen på grunn av gulvvarme være beskjedent.

Boligen vil være utført med ett hovedoppstikk for vann og avløp som kommer opp i baderommet og blir ført videre opp i sjakten. Baderommet er samtidig utført med gulvsluk. Begge disse forhold gjør at det kan være hensiktsmessig å bruke et støpt badegulv for å fiksere avløpsinstallasjonene i anleggsperioden.

### 832 Energi- og kostnadsvurderinger

Det har tidligere vært foretatt kostnadsvurderinger av prototypkonstruksjon av en lett flytende gulvkonstruksjon som viste at produksjonskostnadene for denne konstruksjonen omtrent er de samme som for en tradisjonell utførelse med betonggulv og normal isolasjonstykkelse, se Byggforsk, prosjektrapport 167. Det arbeides forøvrig videre med produktutvikling og forenkling av utførelsen. Potensialet for kostnadsreduksjon vil ligge i størrelsesorden 5 000 til 10 000 kroner avhengig av grunnforholdene. Da en tradisjonell utførelse har en gjennomsnittlig U-verdi på 0,3 W/m<sup>2</sup>K, betyr dette en årlig energibesparelse for den nye utførelsen på ca. 1 600 kWh. Samlet varmetap fra gulvet til grunnen er nå redusert til ca. 1 200 kWh/år.

Med dagens energipriser vil redusert varmetap over en 20 års periode bety besparelser regnet om til nåverdi på 8 500 - 12 000 kroner. Det er da forutsatt en kalkulasjonsrente på 3 - 7 % og en energipris på 50 øre/kWh. De besparelsene som oppnås for gulvkonstruksjonen, vil bli brukt til å finansiere andre energisparetiltak i lavenergi boligen som med dagens teknologi er mindre lønnsomme.

## 9 INSTALLASJONER

For å kunne gjøre noe med de totale installasjonskostnadene er det nødvendig å kartlegge både primær- og sekundærkostnadene. Spesielt sekundærkostnadene kan det være vanskelig å fastlegge da disse normalt inngår i generelle byggekostnader. I dette tilfellet har vi så langt det har vært mulig valgt utførelser som gir enkle installasjoner og minst mulig byggetekniske tilleggsarbeider. I de tilfellene der bruk av dagens teknologi ikke gir kostnadseffektive løsninger, vil dette bli påpekt med angivelse av alternative løsninger. Installasjonskostnader bygger gjerne på tariffen eller gjennomsnittspriser basert på erfaringsverdier fra tradisjonelle utførelser. Derfor kan det i prototyp-konstruksjoner være vanskelig å få full uttelling for rasjonaliseringstiltak. Når det gjelder sanitærinstallasjonene, er det brukt sjaktløsning og installasjonsvegg der man har god mulighet for prefabrikasjon. Dette kan f.eks. være kjøkkeninnredning med ferdig monterte sanitærinstallasjoner. Prefabrikasjon vil generelt lettere kunne synliggjøre rasjonaliseringsgevinster.

### 91 Ventilasjonsanlegg og luftmengder

Lavenergiboligen er utstyrt med balansert mekanisk ventilasjon med varmegjenvinning. Basisventilasjon når ingen er til stede i boligen kan settes til  $0,2 \text{ l/s/m}^2$  bruksareal. Dette er en luftmengde som forutsettes levert fra ventilasjonssystemet. Samlet luftmengde i dette tilfellet er da ca.  $28 \text{ l/s}$  eller en luftveksling på  $0,3$  ganger i timen. I tillegg kommer infiltrasjonen gjennom utettheter. Det er lagt stor vekt på å utføre lavenergiboligen så lufttett som mulig og det er forutsatt at infiltrasjonen i gjennomsnitt gir en luftveksling på ca.  $0,1$  ganger i timen. Det er tilluft som ikke passerer varmeveksleren. Når boligen er i bruk, bør luftmengdene avgitt fra ventilasjonsanlegget være i overensstemmelse med tabell 91 a.

Når det gjelder dimensjonerende tilluftsmengder, vil disse være summen av et bygnings- og personbestemt ventilasjonsbehov. Tilstrekkelig ventilasjon kan oppnås i de forskjellige rommene med en frisklufttilførsel på  $7 \text{ l/s}$  person. Det vanlige er å regne med et dimensjoneringsgrunnlag på fem personer i en enebolig. Nå vil ventilasjonsbehovet i de enkelte rom variere med bruken. Det kan derfor i perioder være nødvendig å forsere friskluftstilførselen.

Tabell 91 a

Friskluft og avtrekksbehov, bolig fig. 71

Rom	Dim. antall personer	Bruksavhengig friskluftsbehov (l/s)	Avtrekk (l/s)
Stue	5	35	
Foreldresoverom	2	14	
Dobbeltsoverom/stue	2	14	
Barnerom	1	7	
Barnerom	1	7	
Kjøkken			10/(30)*
Bad/vaskerom/WC			15/30
Bad med WC			15/30
Samlet		77	40/70

/(tall) betyr forsert ventilasjon

\* (30) angir kortvarig forsert ventilasjon fra komfyrhette til egen kanal

Et normalt og forsert avtrekksbehov på 40/70 l/s svarer i dette tilfellet til et luftskifte i boligen på 0,44/0,77 luftvekslinger i timen.

For å sikre at boligen får et svakt undertrykk i forhold til uteluften, må tilført luftmengde være litt mindre enn avtrekksmengden, se punkt 912. Ved et stort avtrekksbehov vil det automatisk bli avbalansert med en tilsvarende økning i tilluftmengden.

### 911 Behovsstyring

Energieffektive boliger krever en form for behovsstyring av ventilasjonsmengden. Det er særlig viktig å sikre tilstrekkelig ventilasjon i soverom, noe som tidligere har vært lavt prioritert. I tillegg til god ventilasjon må soverom være utstyrt med vindu som kan åpnes. Når lavenergiboligen er i bruk, har man ved behovsstyring mulighet for å redusere ventilasjonsbehovet med  $(77 - 40) \text{ l/s} = 37 \text{ l/s}$ . Når boligen ikke er i bruk, kan ventilasjonsbehovet ytterligere reduseres med  $(40 - 28) \text{ l/s} = 12 \text{ l/s}$ . Samlet kan man med behovsstyring redusere ventilasjonsmengden med ca. 50 l/s når ingen er til stede i boligen.

Selv med varmegjenvinning av avtrekksluftmengden vil denne reduksjonen av ventilasjonsmengden bety vesentlig mindre ventilasjonstap. Behovsstyringen av ventilasjonen kan gjøres manuelt eller automatisk. I dette tilfellet vil behovsstyring foregå manuelt ved hjelp av turtallsregulering av vifteturtallet.

### 912 Luftfordeling

Ved å prioritere frisklufttilførselen til et dobbeltsoverom og to barnerom blir samlet luftmengde 28 l/s. Det er da forutsatt at dobbeltsoverom i annen etasje er brukt som en loftsstue. Med en basis avtrekksmengde på 40 l/s blir direkte lufttilførsel til stuen 12 l/s. Da luftavtrekket er plassert på kjøkken og bad, som ligger sentralt i boligen, vil tilluften til soverom passere øvrige deler av boligen. Man kan f.eks. bruke lydisolerte overløftsventiler på innvendig skillevegger mellom soverom og tilstøtende rom, se fig. 912 a. Hvis man ikke oppholder seg på soverom, betyr det større tilførsel av frisk luft til den øvrige boligen. Basis avtrekksmengde vil derfor i en normal brukssituasjon sannsynligvis gi boligen tilfredsstillende inn klima. Figur 912 b viser luftfordelingen i boligen med angivelse av luftmengder i en normalsituasjon.

I lavenergiboligen vil det bli brukt en form for omrøringsventilasjon. Tilluftsventilene plasseres derfor øverst på veggen eller i taket. Ventilene må dimensjoneres med hensyn til trykkfall og trekkrisiko. For å unngå enhver størrisiko er det viktig å tilstrebe et lavt trykkfall over ventilene. For å sikre at ventilene lokalt ikke strupes for meget, vil innreguleringen foretas ved sentralt plasserte ventiler. Det skal være overstrømningsåpninger fra soverom med lufttilførsel til tilstøtende rom. Disse plasseres høyest mulig på veggen. Som overstrømningsåpning mellom soverom og stue i hovedetasjen, brukes lydisolert overløftsventil. For soverom i annen etasje kan det som et alternativ til lydisolert overløftsventiler også brukes spalte over dør. Rom med avtrekk, i dette tilfellet bad og kjøkken utføres med spalte under dør.

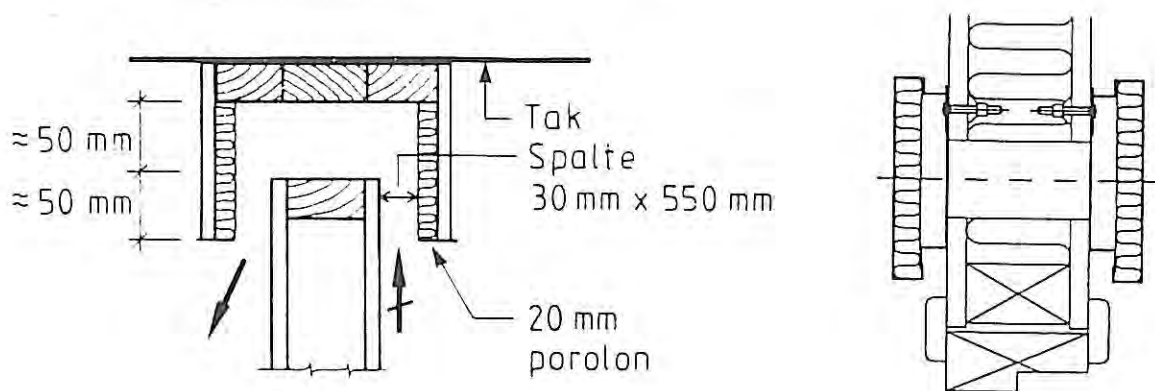


Fig. 912 a.

Eksempel på lydisolert overløftsventil mellom soverom og tilstøtende rom.



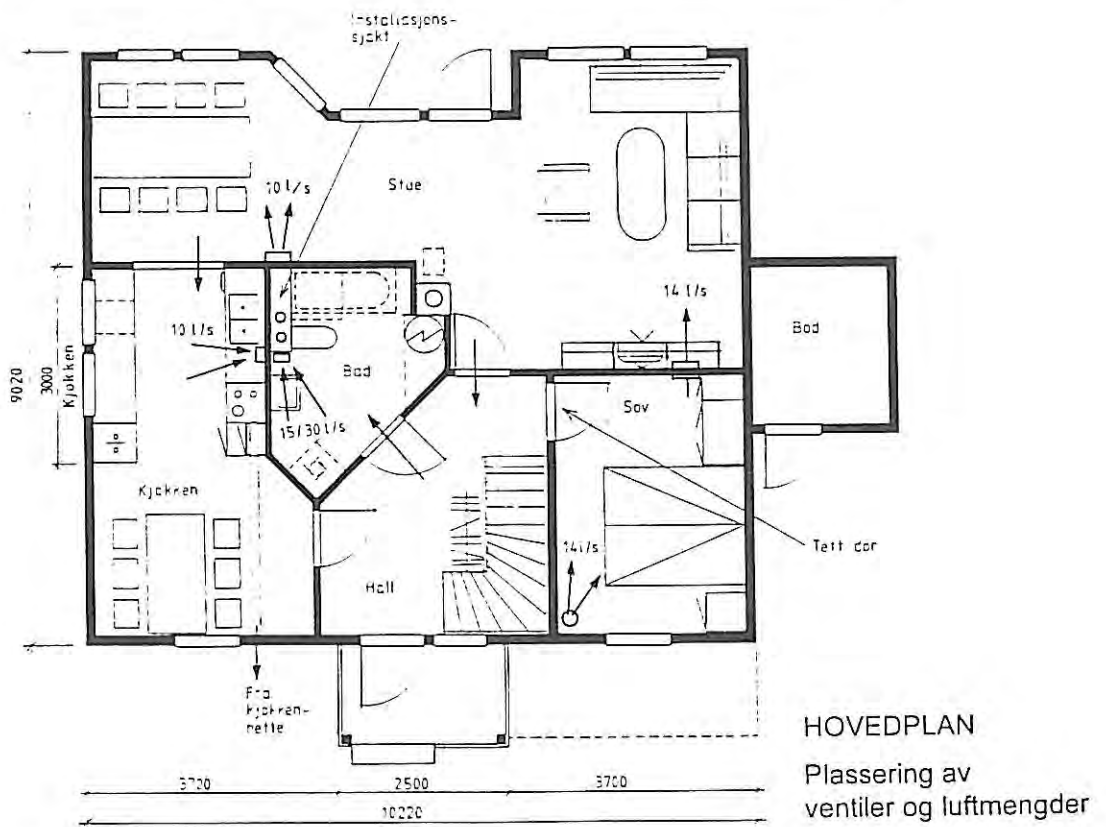
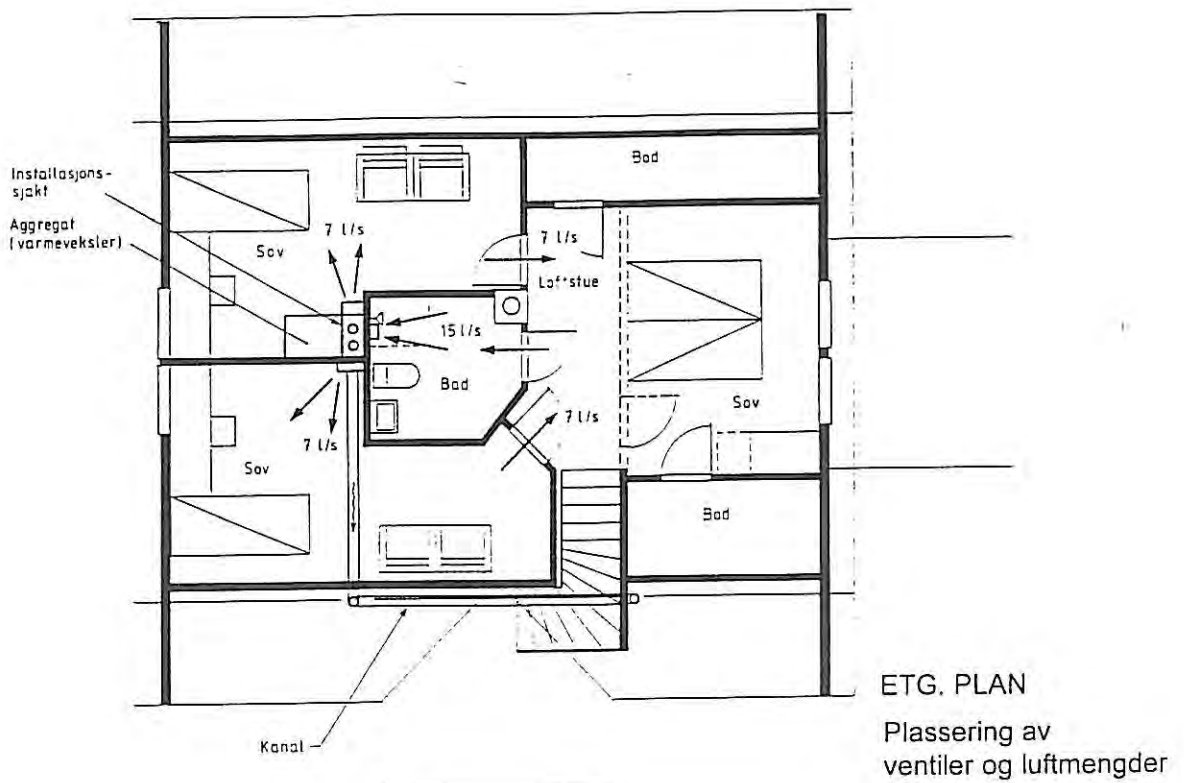


Fig. 912 b.

Luftfordeling i lavenergiboligen med angivelse av luftmengder i en normalsituasjon.

### 913 Turtallstyrte vifter

En enkel måte å variere luftmengden på er å bruke turtallstyrte vifter. Når vifteturtallet endres, vil luftmengdene endres prosentvis likt i alle deler av anlegget. Ved å forsere ventilasjon i ett rom vil dette føre til økt ventilasjonsgrad i hele boligen. Ved riktig prioritering av lufttilførselen til de forskjellige rommene i boligen, vil det ved vanlig bruk vil være relativt sjelden behov for å forsere ventilasjonen. En enkel turtallstyring av viftene kan forsvares også sett i en energiøkonomisk sammenheng. I lavenergi-boligen er avtrekksviften i varmeveksleraggregatet utstyrt med en manuell tretrinns transformatorstyring for henholdsvis redusert, normal og forsert drift. I normal driftsstillingen er vifteturtallet for det brukt aggregatet ca. 500 rpm og opptatt motoreffekt ca. 16 W, se punkt 917.

### 914 Omkoblingsspjeld

En annen form for behovsstyring er å bruke omkoblingsspjeld mellom forskjellige rom, se for øvrig Byggforskserien, byggdetaljer A 552.301. Denne formen for behovsstyring er ikke brukt i lavenergi-boligen der alle spjeld og ventiler er låst etter innregulering.

### 915 Innregulering

Før anlegget tas i bruk må det innreguleres. Man måler da luftmengdene i anlegget og justerer spjeld og ventiler til riktige luftmengder og trykkløst. Deretter låses innstillingene.

### 916 Varmegjenvinner

Balansert behovstyrt ventilasjon med varmegjenvinning kan redusere oppvarmingsbehovet til ventilasjonsluften med 70 - 80 %. Behovsstyring vil samtidig kunne redusere energiforbruket til drift av vifter med 20 - 30 %. For et tradisjonelt anlegg med en årlig vifteenergi på ca. 1 200 kWh vil dette utgjøre 200 - 400 kWh pr. år. I dette tilfellet med bruk av en avtrekksvifte med meget begrenset effekt < 20 W, vil energireduksjonen ved turtallstyring ha liten betydning. Med grunnlag i en normalluftmengde er det realistisk å regne med en effektiv temperaturvirkningsgrad for den aktuelle varmevekslerens inntaksside på 70 - 80 %. Avgjørende for virkningsgraden er hvordan man løser problemet med ising i varmeveksleren. I dette tilfellet er det forutsatt brukt en forvarming av tilluften for lave utelufttemperaturer (< -7,0 °C). Batterieffekten på forvarmeren ligger på ca. 1.0 kW. Det er ikke montert ettervarmer i tilknytning til dette ventilasjonsaggregatet.

### 917 Utførelse.

I lavenergiboligen vil det bli brukt en type varmegjenvinner der det har vært et prioritert mål å unngå støy, oppnå et lavt forbruk av vifteenergi og høy virkningsgrad. Dette kan f.eks. oppnås ved mest mulig å utnytte naturlige drivkrefter (oppdrift, vind), se fig. 917. Forutsetningen for å kunne utnytte naturlige drivkrefter er et lavtrykksanlegg som krever relativt store dimensjoner på varmeveksler og kanaler. På planleggingsstadiet må det settes av plass til aggregater i planen, se fig. 912 b. Både aggregater med vifter, filter etc. må være lett tilgjengelige for inspeksjon og vedlikehold. Disse enhetene er derfor plassert i soverom i 2. etasje. For ytterligere detaljer i ventilasjonsaggregatet vises til [5]. Ventilasjonsluften fra kjøkkenheten er ikke koblet sammen med det øvrige anlegget, men ført direkte ut gjennom ytterveggen. Kjøkkenheten er utstyrt med tilbakeslagsspjeld for å forhindre innlekking av kald luft.

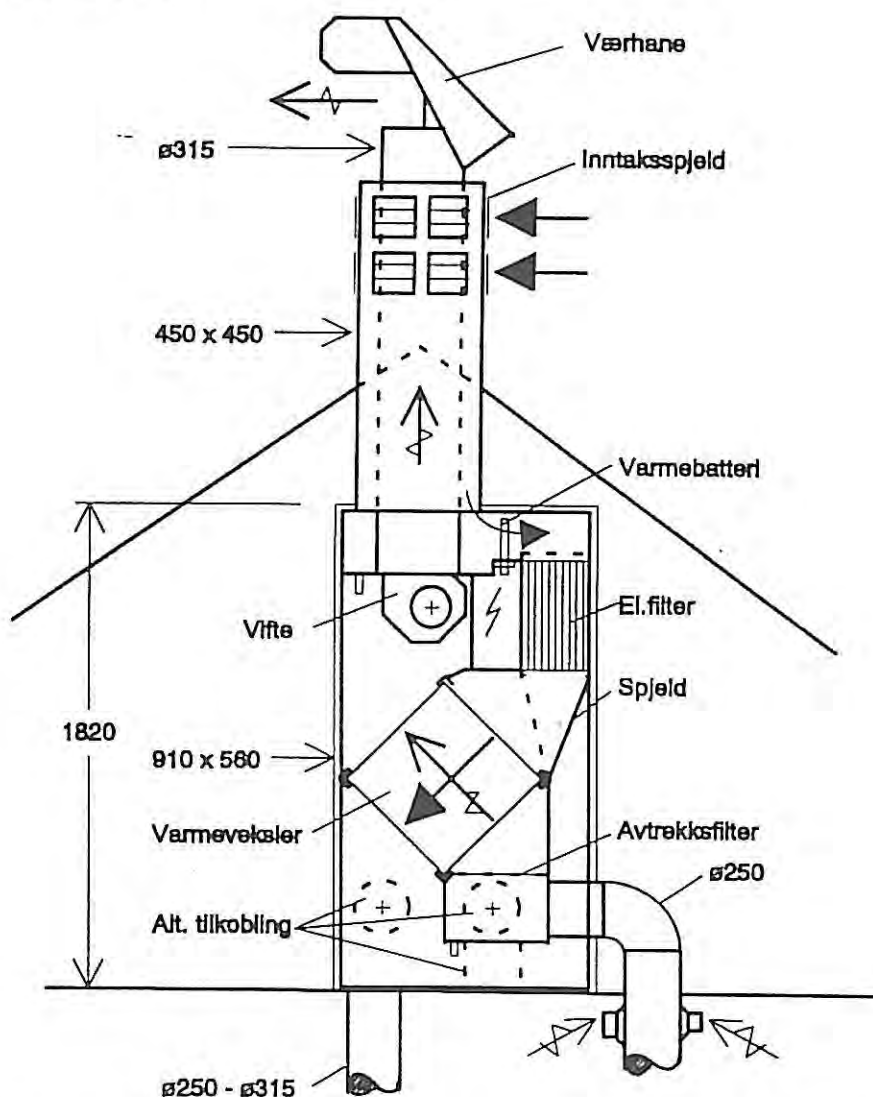


Fig. 917.

Prinsippkisse av ventilasjonssystem med varmeveksler som overfører varme fra avtrekksluften til tilluften. Det viste systemet utnytter naturlige drivkrefter.

### 918 Energi og kostnadsvurdering

Normal utførelse av et ferdig montert balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning koster to til tre ganger mer enn enkle mekaniske anlegg. For ventilasjonsanlegget i lavenergiboligen betyr det tilleggskostnader i størrelsesorden 12 000 kroner. I disse kostnadene inngår ev. tillegg for å sikre at boligen en meget god lufttetting. For å unngå tilleggskostnader av betydning er det valgt byggetekniske løsninger som er relativt enkle å lufttette. Det er for øvrig kostnader som vil bli etterkalkulert etter montering av anlegget. Det gjelder også sekundærkonstruktører i form av byggetekniske tilleggsarbeider.

For tradisjonelt utførte balanserte ventilasjonsanlegg er kostnadene omtrent likt fordelt mellom ventilasjonsaggregat med varmeveksler, vifte og filter og kanalføringen med ventiler. Det er da ikke tatt hensyn til bygningstekniske tilleggsarbeider som for et omfattende kanalnett kan bli relativt store. I dette tilfellet med forholdsvis få og korte kanaler vil kostnadene til aggregatet med pipehatt med tilluft og avtrekkskanal utgjøre ca. 3/4 av total kostnadene. For å redusere kostnadene for det aktuelle anlegget kreves en forenkling av ventilasjonsaggregatet med vifte, varmegjenvinner, forvarmer og filter. Bruk av tilluft- og avtrekkshette over tak vil også medføre byggetekniske tilleggsarbeider. Samtidig må det avsettes plass i boligen til aggregater (varmeveksler, vifter, filter etc.) som må være lett tilgjengelige. Da det er brukt platevarmeveksler, vil det dannes kondens under drift som må føres til avløpet. Aggregatet er derfor plassert i tilknytning til installasjonssjakten. Ventilasjonsaggregatet er også utstyrt med et forvarmerbatteri på inntakssiden. Det er termostatstyrt og skal, i tillegg til å unngå ising, sørge for at tilluftstemperaturen ligger mellom 16 - 20 °C, høyest om vinteren. Da ventilasjonsanlegget er utført med lavt trykktap, har varmeveksleren med tilluft og avtrekkskanaler relativt store dimensjoner, se fig. 917.

Alle disse forhold viser at ventilasjonen må løses under prosjekteringen og ikke etter at huset er bygd. Ved å ha en konsentrert og sentralt plassert avtrekksone og bruke overluftsventiler, fig. 912 b, vil det være mulig å redusere kanallengdene til et minimum. I dette tilfellet der aggregatet er plassert på soverom i 2. etasje, er det bare behov for en kanal til dobbeltsoverom i 1. ev. 2 etasje. For å forenkle kanalføringen og unngå at den opptar annet brukbart areal, er den i dette tilfellet plassert bak uisolert knevegg i 2. etasje. Problemer med kondens og avkjøling av tilluften etter at denne har passert varmeveksleren kan unngås ved at kanalene i det vesentlige ligger i oppvarmede rom. Dette gjelder også plassering av aggregater og filtre. Kondensvann fra varmeveksleren føres direkte til avløpnettet.

Årlig energibesparelse ved å bruke av varmegjenvinning på ventilasjonsluften vil i dette tilfellet ligge på 4 000 - 6 000 kWh. Som sammenlikningsgrunnlag har vi brukt et mekanisk anlegg med samme normale luftskifte i tillegg til en gjennomsnittlig infiltrasjon på 0,25 luftvekslinger i timen (lekkasjetall  $n_{50} \approx 4$ ). Stor spredning i gjenvinningspotensialet gjenspeiler usikkerhet når det gjelder lufttetting, varmegjenvinnerens reelle årsvirkningsgrad og evnen til å behovstyre anlegget.

Med en energipris på 50 øre/kWh, en kalkulasjonsrente på 3 - 7 % og en forventet levetid på aggregatet på 15 år, vil man kunne tåle tilleggsinvesteringer på 22 000 - 35 000 kroner. Med tilleggskostnader på ca. 12 000 kroner vil merinvesteringen være inntjent i løpet av 4 - 5 års periode. Dette viser at utførelsen må betegnes å ha rimelig god lønnsomhet. Samtidig får man et kvalitetsmessig meget godt anlegg som sikrer tilstrekkelig tilgang på frisk luft uten trekk. Energi til drift av vifter blir svært beskjeden, og man unngår støy uten å bruke arealkrevende lydfeller. Vedlikeholdsutgiftene vil i det vesentlige ligge på rengjøring eller skifte av filterenhet. Det ligger imidlertid et betydelig utviklingspotensiale i utførelsen der man baserer ventilasjonen delvis på bruk av naturlige drivkrefter. Spesielt viktig er å gjøre varmevekslerenheten mindre arealkrevende. Dette kan f.eks. oppnås ved å erstatte platevarmeveksleren med en annen type varmeveksler.

#### *919 Alternative utførelser*

Ventilasjonsanlegget i lavenergiboligen er utstyrt med bare en avtrekksvifte. En vesentlig forutsetning for å oppnå tilfredstillende funksjon med bruk av dette anlegget er lav strømningsmotstand på tilluftssiden og dermed undertrykk i boligen. Undertrykket i boligen bør ikke bli for stort da dette fører til økt lufttilførsel gjennom klimaskjermens utettheter. Det er derfor brukt et elektrostatisk filter på tilluftssiden som beholder lav strømningsmotstand i ren og tilsmusset tilstand. Et elektrostatisk filter er imidlertid vesentlig mer kostbart enn et vanlig sperrefilter.

Som et alternativ til det valgte ventilasjonsanlegget i lavenergiboligen kan det brukes en tradisjonell utførelse med to vifter og tekstile sperrefiltre. Dette aggregatet tåler høyere strømningsmotstand og er mindre arealkrevende. På grunn av høyere vifteenergi og lufthastigheter, vil dette aggregatet avgi mer støy. Aggregatet må derfor utstyres med lydfeller, samtidig som man ikke står helt fritt når det gjelder plasseringen i boligen. Aggregatet bør fortrinnsvis plasseres på bad, vaskerom e.l.

Sekundærkostnadene ved å installere balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning er svært avhengig av husets planløsning og kan bli relativt betydelige. I kompakte småhus er det samtidig viktig å redusere arealbruken uten at

dette fører til uheldige konsekvenser for anlegget. Skal man utvikle alternative kostnadseffektive løsninger er det derfor også nødvendig å redusere sekundærkostnadene. En måte å gjøre dette på er å la deler av aggregatet inngå som elementer i bygningskonstruksjonen. Figur 919 viser en alternativ løsning der varmeveksleren er en del av ringmursisolasjonen og plassert under gulvet, se [2] Byggforsk prosjektrapport 160.

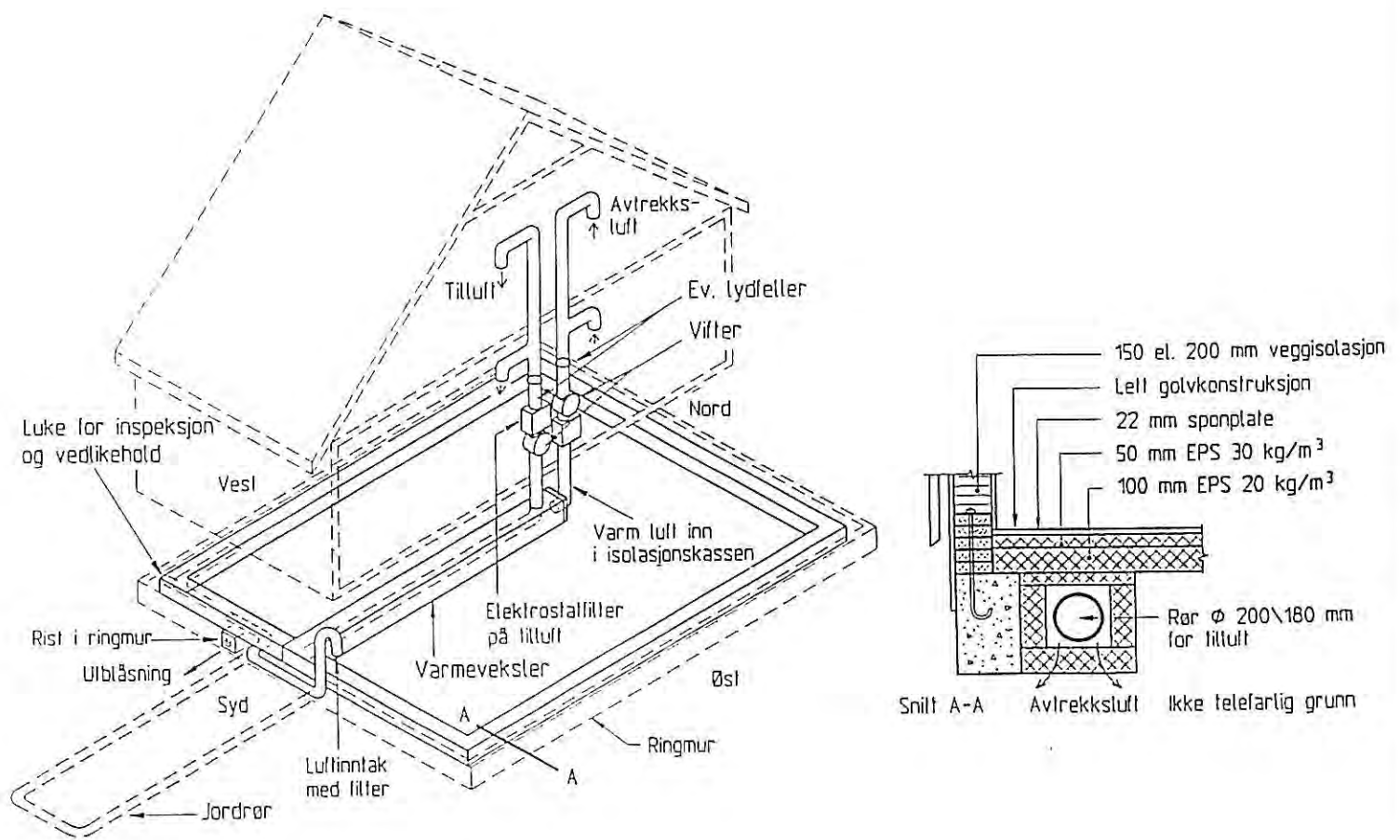


Fig. 919.

Prinsippskisse av ventilasjonssystem med varmegjenvinning der varmeveksleren er plassert under gulvet i boligen og inngår som en del av ringmursisolasjonen.

I prinsipløsningen i fig. 919 er varmeveksleren koblet sammen med ringmurs-isolasjonen under gulvet. Systemet krever lite areal i boligen, og man kan unngå avkast over tak. Plasseringen av viftene gjør at en vesentlig del av vifteenergien kan gjenvinnes. Hvis man i tillegg lar tilluften passere et eksternt jordrør, kan man få en forvarming av tilluften om vinteren og avkjøling om sommeren. Anlegget kan da gå hele året uten omkoblinger. En vanlig utførelse forutsetter at ventilasjonsluften går utenom varmeveksleren i perioder i sommerhalvåret med høye lufttemperaturer for å unngå overoppheting. Begge løsningene forutsetter bruk av elektrostatfilter på inntakssiden.

For ytterligere alternativer se *bilag 2*.

## 92 Sanitærinstallasjoner

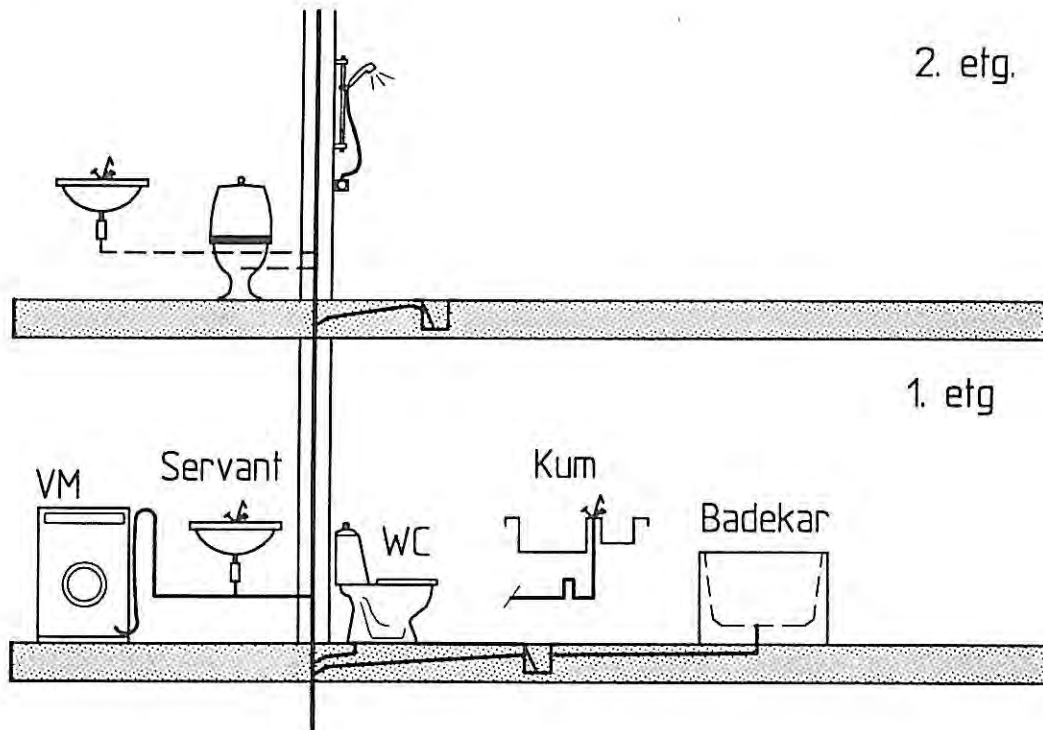
Lavenergiboligen er utført med livsløpsstandard, noe som betyr at vi har fulle våtromsenheter i begge etasjer. Planløsningen med samlet beliggenhet av våtrom gir et enkelt opplegg av sanitærinstallasjonene. Alle sanitærinstallasjonene er derfor tilknyttet til en installasjonsvegg som står i direkte kontakt med installasjonssjakten, se fig. 92.

Det er benyttet toalett som står på gulvet, og bjelkelag med vegguttak. Veggmontert toalett er gunstig når det gjelder renhold, men krever betydelige byggetekniske tilleggskostnader som omfatter forsterkning av veggkonstruksjonen. For å få tilfredsstillende fallforhold, er toalettet plassert nærmest sjakten. Alle vannledninger vil bli lagt i lettvegger uten skjøter. Som et alternativ kan vannledningen også legges åpent i kjøkkenbenken. Alle skjøter på vannledningen vil da være i tilknytning til stigeledningen som er plassert i sjakten. Sjakten er utført med inspeksjonsluker som gjør det mulig å kontrollere alle skjøter på vannledningen. Ved å unngå skjulte skjøter, ev. anlegge åpne løsninger som gjør det mulig å kontrollere skjøtene, reduseres antall vannskader pga. lekkasjer dramatisk.

Når det gjelder valg av utstyr, kan det f.eks. være hensiktsmessig å bruke badekar i 1. etasje med sluk i gulvet der vi har støpt gulv. Når det gjelder badet i 2. etasje, kan det tenkes forskjellige løsninger med dusj uten badekar. Man kan f.eks. bruke et dusjkabinett med eget avtrekk uten bruk av sluk i gulvet. Dette er en meget god løsning med tanke på vannskader og gir en enkel bygningsteknisk utførelse av baderommet. Som et alternativ kan man utføre badegulvet med sluk, og bruke deler av badegulvet til oppsamling av dusjvannet. Badegulvet kan da utføres på forskjellige måter. Den enkleste byggetekniske løsningen er å plassere dusjen i et hjørne, bruke tett gulvbelegg og bygge opp en kant rundt dusjplassen med sluk, fig. 92 b. Som et alternativ kan man

bygge gulvet med fall som et plategulv, eller med påstøp ev. med bruk av varmekabler.  
Disse løsningene er mer kostbare.

Servant 2. etg. avløp i vegg  
WC 2. etg. avløp i skap  
Sluk 2. etg. avløp i bjelkelag  
Luffing 2. etg. avløp i skap



Vannledninger legges åpent / i kasse / i lettvegg  
(kun hele rør uten skjøter i vegg)  
1. etg. og 2. etg., WC med Q-vannlås

Vaskemaskin og servant, 1. etg. på vegg / i benk  
Wc 1. etg. avløp i kasse  
Sluk 1. etg. i golv  
Kjøkkenbenk 1. etg. avløp i kasse / benk  
Oppvaskmaskin 1. etg. til kjøkkenbenk  
Luffing / opplegg avløp i kasse

Fig. 92 a.

Sanitærinstallasjoner i lavenergiboligen med installasjonssjakt



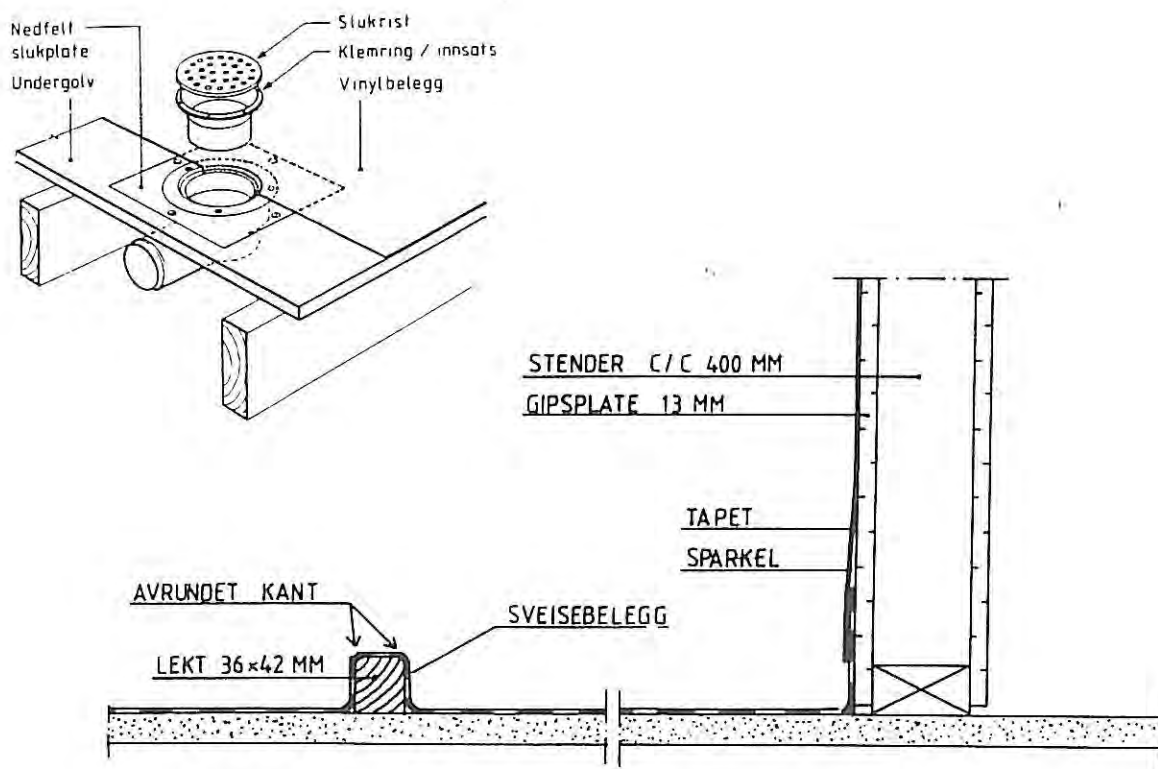


Fig. 92 b.

Dusj plassert i hjørne med tett gulvbelegg, oppbygget kant og sluk

Berederen for varmt tappevann er plassert i tilknytning til pipe og ildsted. Man har da i prinsippet mulighet for å kombinere ildsted og produksjon av varmt tappevann.

Varmetapet fra varmtvannsberederen vil bidra til oppvarming av baderommet i 1. etasje.

### 921 Kostnadsvurderinger

Primærkostnadene til sanitærinstallasjonene i en bolig med livsløpsstandard vil ligge rundt 30 000 kroner. Dette er inkludert utstyr og varmtvannsbereder. Sanitærutstyret som servanter, toalett, oppvaskkummer osv. er det samme uavhengig av boligform og utgjør derfor en vesentlig del av installasjonsomkostningene. Eventuelle besparelser vil da gå på kortere fordelingsledninger og mulighet for prefabrikasjon av deler av avløpsanlegget. Prefabrikasjon av avløpsanlegget f.eks. ved å sveise PE-rør uten bruk av dyre standarddeler, kan redusere material- og monteringskostnadene. Dette forutsetter at man kan bygge opp sanitæranleggene i flere hus med bruk av samme prinsipielle løsning med sjaktløsning og horisontale avgreninger. Denne teknikken brukes for øvrig i større bygninger der man ofte bruker prefabrickerte løsninger. Ved å

samle sanitærinstallasjonene som i dette tilfellet, bør det ligge et sparepotensiale på ca. 10 % eller ca. 3 000 kroner sammenliknet med tradisjonell utførelse. Løsningen gir vannskadesikre installasjoner som er enkle å skifte ut hvis det oppstår feil eller ved rehabilitering. I tillegg til primærkostnadene til selve sanitæranlegget kommer det byggetekniske tilleggskostnader. I dette tilfellet omfatter det bygging av installasjonssjakt, installasjonsvegg, innebygging av sluk i gulv etc. Da disse anleggene skal tilfredsstille flere funksjoner, vil man å få god kostnadsfordeling og dermed lavere tilleggskostnader. Når det gjelder å kartlegge primære og sekundære kostnader for sanitærinstallasjonene med henblikk på en optimalisering, er dette arbeid som vil bli ført videre.

### **93 Varmeanlegget og elektriske kabler**

I lavenergiboligen er det lagt opp muligheter for bruk av alternative energikilder til oppvarming. Da lavenergiboligen har et beskjedent varmebehov, er det forutsatt at dette dekkes av elektriske panelovner. Både når det gjelder anleggskostnader og energiøkonomi vil dette være den gunstigste løsningen. Dimensjonerende effektbehov til oppvarming vil ligge på ca. 4,3 kW. På grunn av en meget godt isolert klimaskjerm, står man relativt fritt ved plassering av varmeovnene samtidig som disse krever mindre effekt. Bortsett fra de høye vinduene i stuen der det er fordelaktig med noe varmetilførsel under vinduet, kan de elektriske varmeovnene plasseres på innervegger. Varmeovner under vinduer eller på kalde ytterflater vil føre til lokale overtemperaturer og dermed øke varmetapet fra boligen. Panelovnene kan derfor settes opp på de mest hensiktsmessige stedene i rommene. I lavenergiboligen er det en kombinasjon av ytter- og innervegger, se fig. 93. Plassering av varmeovner på innervegger kan gi enklere installasjon.

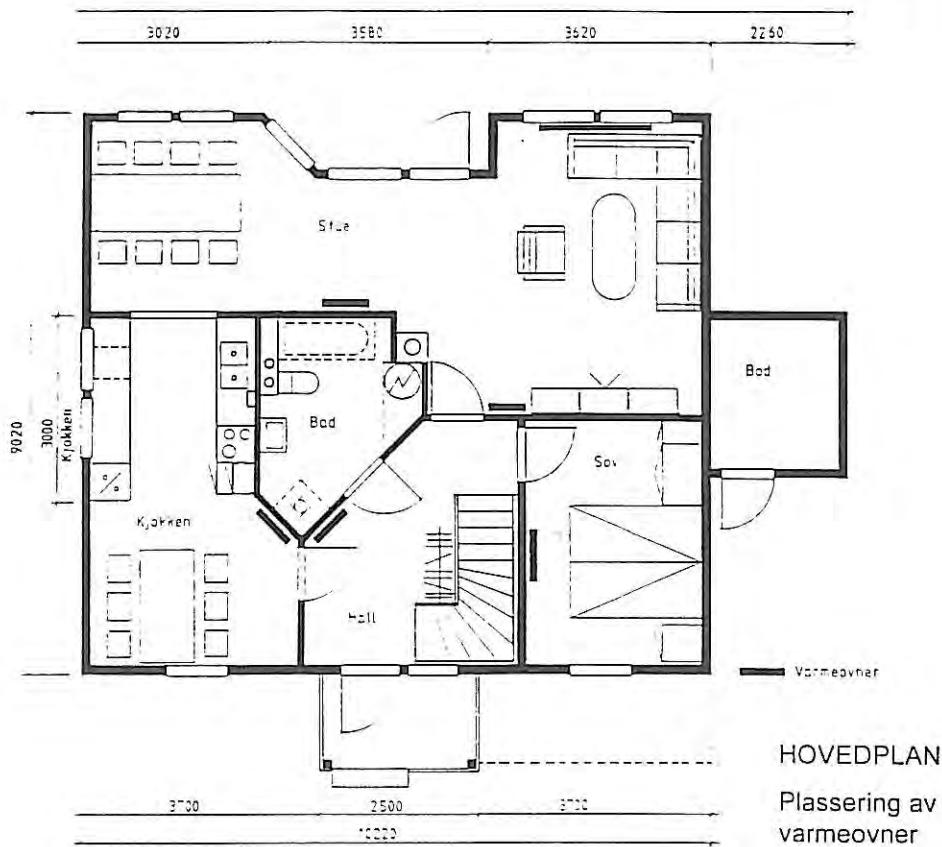
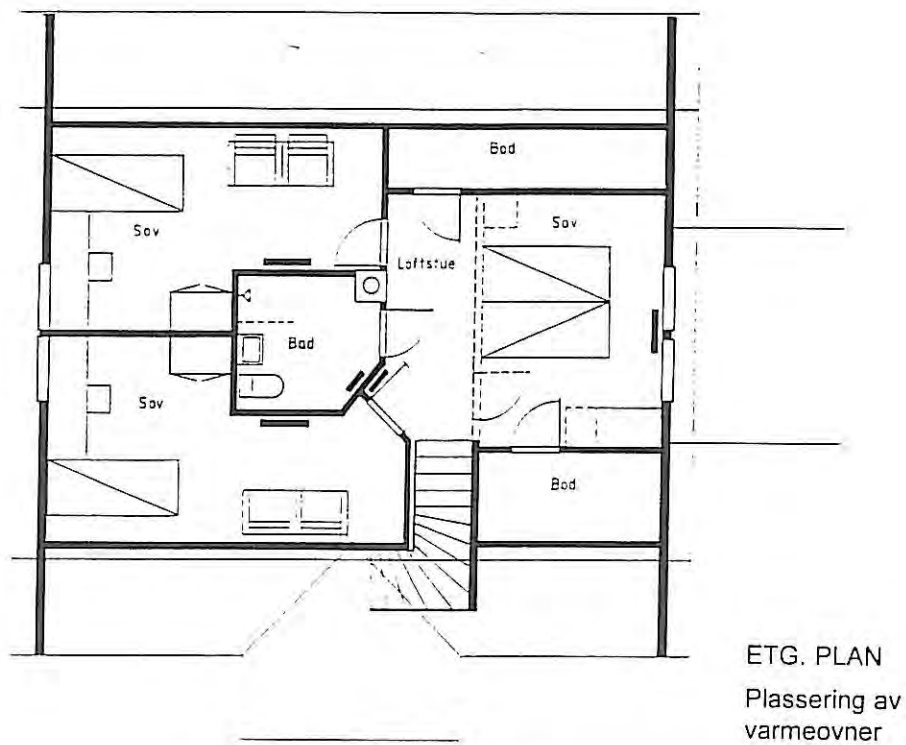


Fig. 93.  
Plassering av varmeovner i lavenergiboligen

Avgjørende betydning for en energieffektiv bolig er god temperaturstyring. Samtidig er lavenergiboligen utført med tanke på en viss temperatursoning. For elektriske panelovner finnes det flere ulike former for lokal og/eller sentral programstyring, gjerne kombinert med elektroniske termostater med tidsautomatikk. Da boligen er utført som en lett konstruksjon med god tilgang på frisk luft, vil avkjølingshastigheten ligge mellom 0,5 og 1,0 °C/time for en utetemperatur mellom 0 og -20 °C. Med nattsenkning kan man spare ca. 360 kWh eller 5-7 % av oppvarmingsbehovet. Forutsetningen for en effektiv nattsenkning er at man har en betydelig forseringseffekt på varmeanlegget. En hurtig oppvarming (1 -2 timer) er avhengig av utetemperaturen, men krever gjerne en dobling av dimensjonerende effekt avgitt fra varmeanlegget [4]. På bakgrunn av en relativt beskjeden energisparing ved nattsenkning, bør det undersøkes om denne overdimensjoneringen av varmeanleggene er økonomisk lønnsom.

Energisparepotensialet for en moderat temperatursoning vil ligge i størrelsesorden 1 000 kWh/år.

I første omgang vil det bli installert enkle ovner med lokale elektroniske termostater der man senere kan supplere med tidsautomatikk.

I tillegg til elektriske panelovner er lavenergiboligen utstyrt med gulvvarme i det sentralt beliggende baderommet i hovedetasjen. Her det brukt tradisjonell løsning med elektriske toleder varmekabler i betong. Man unngår dermed elektromagnetisk stråling. På grunn av baderommets størrelse og sentrale plassering i planen er det ikke nødvendig med tilleggsisolasjon i gulvet ved bruk av gulvvarme. På grunn av påstøpen som er utført med fall og har en tykkelse på 50 - 72 mm, vil isolasjonstykkelsen under badegulvet reduseres til 100 mm. Ved å erstatte ekspandert polystyren med ekstrudert polystyren svarer dette til en økning av gulvisolasjonen med 20 mm eller totalt 120 mm ved bruk av ekspandert polystyren. Dette vil delvis kunne kompensere for økt varmetap fra gulv med gulvvarme. Badet i 2. etasje som er utført med en lett gulvkonstruksjon med gulvbelegg, kan meget effektivt varmes opp ved hjelp av en stråleovn. Som et alternativ kan det brukes påstøp og varmekabler. Denne utførelsen krever isolasjon i mellombjelkelaget under påstøpen.

Lavenergiboligen er også utstyrt med skorstein og ovn for fast brensel. Skorsteinen er sentralt plassert i tilknytning til installasjonskjernen. Det gir en god varmfordeling ved fyring med biobrensel. Da ovn og skorstein ligger nær bereder for varmt vann, er det i prinsippet mulig å bruke bioenergi også til produksjon av varmt vann. På grunn av lavenergiboligens beskjedne effektbehov til oppvarming, er det viktig å bruke ovn med god effektkontroll. Muligheten til å bruke alternative energikilder til oppvarming gir

flere fordeler. For det første har man et alternativ hvis elektrisitetsforsyningen svikter. Bruk av bioenergi gir også mulighet for en forsert oppvarming når boligen er nedkjølt. Man kan dermed klare seg med en beskjeden overdimensjonering av de elektriske panelovnene. Begrenset effekttilgang til panelovnene vil kunne gi noe rimeligere elinstallasjon.

### *931 Kostnadsvurderinger*

Ved å plassere de fleste varmeovnene på innervegger vil man kunne få noe kortere kabelstrek. I tillegg vil man på grunn av beskjedne effekter kunne koble flere ovner, ev. annet utstyr, på felles kurser. Når det gjelder kostnader ved forskjellig valg av føringsveier, i tillegg til åpne og lukkede systemløsninger, er dette forhold som vil bli belyst ved en videreføring av prosjektet. Ved bruk av elektrisk oppvarming er det viktig å se dette anlegget i sammenheng med boligens generelle elektriske installasjoner. Hvis kostnadene til det elektriske anlegget ligger i størrelsesorden 20 000 - 30 000 kroner inkl. varmeovner og varmtvannsbereder, bør det tilsvarende for sanitærinstallasjonene ligge et sparepotensiale på 10 % eller 2 000 - 3 000 kroner. Dette vil omfatte direkte besparelser på grunn av enklere opplegg. Når det gjelder reduksjoner i sekundære bygningstekniske tilleggskostnader, avhenger det av at man kan utvikle åpne løsninger som økonomisk kan konkurrere med skjult utførelse.

Installasjon av sentralt styringsystem for varmeovnene kan forenkle regulering av romtemperaturene. Hvis man bruker nattsenkning og moderat temperatursoning, vil potensialet for energisparing ligge i størrelsesorden 1 300 kWh/år. Det finnes i dag styringsystemer som i tillegg til temperaturstyring kan omfatte en rekke andre funksjoner. Dette kan i prinsippet omfatte alle elektriske installasjoner i boligen som utelys, motorvarmer, alarmsystemer, ventilasjonsvifter etc. Dette gjør disse systemene svært aktuelle også i tilknytning til lavenergiboligen.

### **94 Teleinstallasjoner, antenne- og alarmanlegg**

Det er viktig å klarlegge lavenergiboligen for en rekke typer kabelinstallasjoner. Som for elektriske kabelanlegg er det en fordel med fleksible systemløsninger. Når det gjelder teleinstallasjoner, finnes det i dag rimelige trådløse systemer som er enkle å installere.

## 10 ENERGIBEHOV

Det er foretatt effekt- og energiberegning av boligen vist på fig. 51. Beregningene er foretatt etter NS 3031, og det er brukt Oslo klima som referanse. Karakteristiske grunnlagsdata for energiberegningene er angitt i tabellene 10 a-d.

Tabell 10 a

Karakteristiske data for boligen vist på fig. 51

	Arealer m <sup>2</sup>	U-verdi
Totalt bruksareal	138	W/m <sup>2</sup> K
Vegger	104,8	0,18
Vindu nord	4,9/4,5*	1,6
" øst	5,6/5,0	"
" vest	2,8/2,5	"
" syd	8,5/7,8	1,6/1,5
Samlet	21,8/19,8	
Tak	113,6	0,15
Gulv-på-grunnen	84,7	0,13
Dører	2,9	1,0
Volum m <sup>3</sup>	326	

\* Vindu/glassareal

Tabell 10 b

Infiltrasjon og ventilasjon

Infiltrasjon, luftveksling pr. time	0,10
Ventilasjon	
Type	Balansert
Normalt avtrekksbehov (Luftveksling pr. time)	40 l/s* (0,44)
Varmegjenvinning, temp. virkningsgrad %	75

\* Det er her forutsatt av ventilasjonen er behovstyrt med variasjonsområde fra 28 l/s til 77 l/s med basisverdi 40 l/s, se punkt 91.

Tabell 10 c

Internvarme, gjennomsnitt

Belysning (W/m <sup>2</sup> )	1,5*
Personer (W/m <sup>2</sup> )	1,4 (NS 3031)
Utstyr (W/m <sup>2</sup> )	2,7 (NS 3031)

\* Forutsatt brukt noe lavenergibelysning

Tabell 10 d

Energibehovet når det forutsettes Oslo klima

Energibehov	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/år	%
Varmebehov	44,8	6 180	42
Varmtvann	25,4	3 500	24
Lys, utstyr	36,8	5 080	34
Totalt	107,0	14 760	100

Totalt energibehov for boligen i fig. 71 er på 14 760 kWh pr år. Herav utgjør ventilasjons- og infiltrasjonstapet 3 370 kWh som omtrent er like mye som energien brukt til produksjon av varmt forbruksvann. Dimensjonerte effektbehov eksklusiv produksjon av varmt forbruksvann er ca. 5,0 kW. Herav vil ca. 4,3 kW gå til oppvarming. Det framgår av tabellen at energibehovet til lys og utstyr utgjør 34 % av samlet energibehov. Selv om en stor del av denne energien avgis til boligen i form av nyttbar varme, er det viktig, spesielt i boliger med høy isolasjonsstandard, å bruke lavenergibelysning og energieffektivt utstyr. I beregningene er det forutsatt en innelufttemperatur i alle rom på 22 °C. Med en gjennomsnittstemperatur i boligen på 20 °C vil energibehovet ligge på ca. 100 kWh/m<sup>2</sup>. Ved å bruke behovstyrt ventilasjon og temperatursoning, der soverommene i 2. etasje i perioder kan holde noe lavere temperatur (18 °C), bør det være mulig å komme ned på et samlet varmebehov på ca. 100 kWh/m<sup>2</sup>. Installering av sparedusjer vil også kunne føre til redusert energibehov for produksjon av varmt tappevann.

## 11 LØNNSOMHETSVURDERING AV LAVENERGIBOLIGEN

Tabell 11 viser en oversikt over energisparepotensialet for lavenergiboligen sett i relasjon til kostnader. Dagens boliger med bedre isolasjon enn angitt i gjeldende byggeforskrift (1987) er brukt som sammenlikningsgrunnlag. Det er forutsatt en gjennomsnittstemperatur innenfor klimaskjermen på 22 °C. Ved å bruke en moderat form for temperatursoning i boligen er det mulig å spare ytterligere 1 000 kWh. Sett i relasjon til gjeldende byggeforskrift er energibehovet i lavenergiboligen omtrent halvert. Det er imidlertid å betrakte som et sparepotensiale. For fullt ut å nå dette potensialet, kreves energibevisste brukere som igjen forutsetter energipriser som ikke innbyr til sløsing.

Når det gjelder tilleggskostnadene, er de avhengig både av utførelsen og stedlige forhold. Spesielt når det gjelder gulv-på-grunnen med lavt varmetap, vil det allerede under moderate klimaforhold være nødvendig med en form for frostisolering av ringmuren i telefarlig grunn. Ringmuren frostisoleres ved hjelp av horisontal markisolasjon som samtidig vil bidra noe til å redusere varmetapet fra gulvet.

Tabell 11. Energibesparelser og tilleggskostnader

	Energibesparelse kWh/år	Tilleggskostnader kroner
Tak	600	5 000
Vegger	900	11 000
Vinduer	800	2 000
Gulv-på-grunnen	1 600	- 5 000/10 000*
Ventilasjon/tetthet	6 000	12 000
Sanitærinstallasjoner		- 3 000
Varmeanlegg/elinstall		-2 000
SUM	≈ 10 000	15 000/20 000*

\* Telefarlig/ikke telefarlig grunn. Telefarlig grunn i moderat og kaldt klima krever frostisolering i form av horisontal markisolasjon

Med en energipris på 50 øre/kWh vil tilleggskostnadene med bakgrunn i rene energibesparelser kunne være tjent inn i løpet av en tre- til femårs periode. Det vil imidlertid alltid være betydelig usikkerhet knyttet både til energibesparelser og tilleggskostnader. Dette kan bare fastlegges ved etterkalkulasjoner av reelle kostnader og



direkte målinger av energiforbruket. Det vil også være slik at produksjon av en prototypbolig med bruk av nye løsninger gjerne vil gi noe høyere kostnader. Representativt tilleggskostnader vil man først få etter at man har bygget noen fler boliger og vunnet erfaring med konstruksjonen.

I tabell 11 framgår det at ved å øke isolasjonstykkelsen for vegg og tak med 50 mm vil samlet energibesparelse i form av redusert transmisjonstap ligge på ca. 1 500 kWh/år. Samtidig vil produksjonskostnadene økes med ca. 16 000 kroner. Det er et relativt stort gap mellom investeringer og energibesparelse. Vi har derfor valgt å utføre både vegg- og takkonstruksjonen slik at vi oppnår en tilleggsytelse i form av bedre lufttetthet. Utførelsen kan bidra til å redusere infiltrasjonen fra 0,25 til 0,1 luftvekslinger i timen som ytterligere reduserer energibehovet med ca. 2 000 kWh/år. Samlet energibesparelse vil da ligge på 3 400 kWh/år. Nå vil tiltak for å redusere varmetapet fra vegger og tak være langsiktige investeringer som bør ha samme levetid som den øvrige boligen. Sett i et livsløpsperspektiv vil derfor disse investeringene kunne forsvares. Det er imidlertid viktig å prioritere arbeidet med å utvikle kostnadseffektive bærende elementer i klimaskjermen ev. bruke løsninger der bærende system ses uavhengig av klimaskjermen.

I en utviklingsfase av et nytt lavenergi boligkonsept, vil det alltid være ulike nivåer når det gjelder å finne fram til kostnadseffektive løsninger. Det gjelder både for enkelte energisparetiltak eller generelle rasjonaliseringstiltak. Vi har derfor i denne fasen valgt å se på summen av alle tiltak enten de gir et positivt eller negativt kostnadsbidrag. Det er samtidig ikke riktig å trekke ut enkelte energisparetiltak, selv om disse med bruk av dagens teknologi ikke umiddelbart er lønnsomme. Når man ser på summen av langsiktige tilleggsinvesteringene i lavenergi boligen, vil tiltakene samlet gi en god lønnsomhet. Alle langsiktige energisparetiltak i lavenergi boligen vil med god margin tilfredsstille forslaget til ny byggeforskrift. Når man tar i betraktning at det på nesten alle områder finnes ytterligere muligheter for forenklinger, bør man hurtigst mulig komme i gang med å bygge nøkterne lavenergi boliger for å vinne erfaring med konstruksjonen og samtidig initiere nye løsninger. Samtidig vil enhetsprisen på spesielle produkter som høyisolerende vinduer, dører o.l. synke ved økt volum.

## 12 SLUTTKOMMENTATER

Målinger av energibehovet i like boliger viser at dette tilnærmet har en normalfordeling. Det betyr i praksis at energibehovet er sterkt brukeravhengig. Når vi snakker om det samlede energiforbruket i en bolig, vil dette omfatte energi til oppvarming og produksjon av varmt tappevann i tillegg til generelt forbruk. I en lavenergibolig vil samlet energibehov være summen av en rekke mindre bidrag. Varmebehovet vil ikke være så dominerende som i en vanlig bolig. Skal man derfor sikre et lavt samlet energibehov i en lavenergibolig, er det nødvendig å være bevisst på alle områder i boligen som krever bruk av kjøpt energi.

Nye målinger bekrefter at det er særlig energi til generelt forbruk som har vist en økende tendens de siste årene. Dette er høyverdig energi i form av elektrisitet som ikke kan erstattes av andre energikilder. Forbruket av elektrisk energi har økt til tross for at produsenter av husholdningsapparater er blitt mer energibevisste. Det er derfor viktig å ha en bevisst holdning til plassering, konstruksjon og bruk av slik utstyr. Det er også viktig at varmetapet fra dette utstyret mest mulig kan utnyttes til oppvarming. I lavenergiboligen er f.eks. varmtvannsberederen plassert på badet der man har et varmebehov hele året.

Også energibehovet til oppvarming viser en normalfordeling. Her vil familiens bovaner spille en vesentlig rolle. Romtemperaturer, luftevaner og forbruket av varmt vann vil her være av stor betydning for energibehovet. Rom som brukes lite, eller bare deler av døgnet, kan ha lavere temperatur.

Med energi til varmtvann inngår også varmt vann produsert i vaskemaskiner og oppvaskmaskiner. Det er ikke nødvendig å bruke oppvaskmaskinen hver dag. Utsett vask til man har en full vaskemaskin etc. Er det nødvendig å bruke tørkeskap, eller kan lufttørring være like hensiktsmessig?

Man har ingen garanti for å nå det energimålet som er bygd inn i konstruksjonen. Som for enhver annen bruksgjenstand, bør lavenergiboligen være utstyrt med en bruksanvisning. Bruksanvisningen skal gi nødvendig informasjon om hvordan man best kan nyttiggjøre seg boligens innebygde kvaliteter og samtidig angi hvilke forutsetninger som er lagt til grunn for å nå energisparepotensialet. To viktige hovedpunkter vil være:

- Bovaner, forbruksmønster
- Service og vedlikehold (Tette filtre i ventilasjonsanlegget, dryppende vannkraner, ødelagte tetningslister i dører og vinduer, utette takluker etc.

### 13 REFERANSER

- [1] Gundersen, Per. Rimelige lavenergiboliger. Konseptutvikling. Prosjektrapport 150, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo 1994
- [2] Gundersen, Per. Rimelige lavenergiboliger. Varmegjenvinning. Prosjektrapport 160, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo 1994
- [3] Gundersen, Per. Rimelige lavenergiboliger. Gulv på grunnen. Prosjektrapport 167, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo 1994
- [4] Blom, Peter. Effekt av nattsenkning i lavenergihus. Norges byggforskningsinstitutt, intern arbeidsrapport 454, Oslo 1996. Upublisert
  
- [5] Hestad, Trygve og Skåret, Eimund. Utvikling av et energieffektivt, balansert ventilasjonsanlegg for boliger. Norges byggforskningsinstitutt, prosjektrapport N6805, Oslo 1994. Upublisert
- [6] Byggforskserien
  - Byggdetaljer G 472.321. Lavenergiboliger (1993)
  - Byggdetaljer G 472.325. Eksempel på lavenergibolig - Osloklima (1994)
  - Byggdetaljer A 552.301. Ventilasjon i boliger. Prinsipper og behov (1994)
  - Byggdetaljer A 552.340. Varmegjenvinnere i ventilasjonsanlegg (1994)
  - Byggdetaljer A 571.954. Forseglede ruter med spesielt god varmeisolasjon (1992)
- [7] Stensrød Oddvar. Vannskadesikre, funksjonelle rørinstallasjoner og våtrom Norges byggforskningsinstitutt, Håndbok 42, Oslo 1992

## ***Bilag 1***

### **1 ELEKTRISKE PANELOVNER**

I nyere og godt isolerte boliger anbefaler Siemens A/S følgende installerte effekter:  
For rom med en yttervegg 55 Watt/m<sup>2</sup> gulvflate, mens rom med 2 yttervegger bør ha 70 Watt/m<sup>2</sup> gulvflate. I rom med store vinduer og 2 til 3 yttervegger anbefales 90 Watt/m<sup>2</sup> gulvflate. Lavenergiboligen har en gjennomsnittlig dimensjonerende effekt på ca. 32 W/m<sup>2</sup>.

Ovnene fås i 2 utførelser, som lukkede panelovner eller gjennomstrømningsovner. Gjennomstrømningsovnene kan ha utslipp i topp eller i front og normalt bygger disse 80 - 90 mm ut fra veggen. Ovnene dekker et effektområde fra 200 Watt til 2000 Watt pr. ovn, og ifølge NS 3421 skal ovner i rom for normal bruk ikke ha høyere overflate-temperatur enn 90 °C.

### **2 KALDRAS FRA VINDUER**

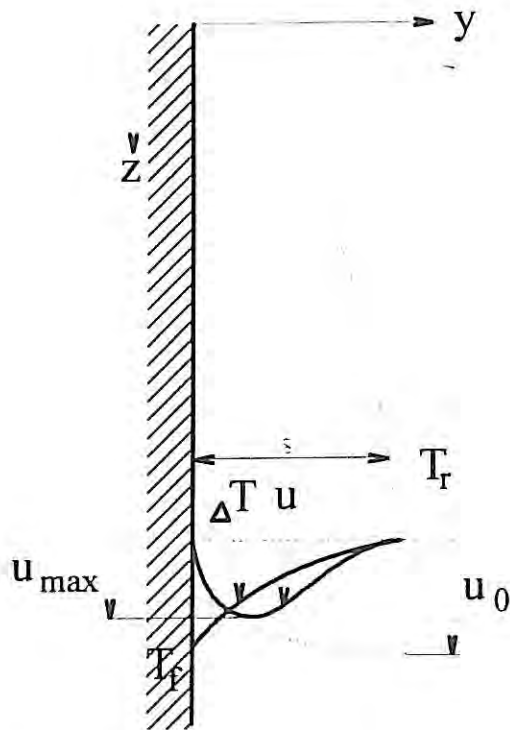
Trekk fra vinduer oppstår som en følge av konveksjonsstrømmer ned langs vinduene. Ved lave utetemperaturer vil temperaturen på glassflaten avkjøle romluften og sette den i bevegelse.

Vinduets U-verdi er i denne sammenheng av stor betydning, i det jo bedre denne er, jo nærmere vil vinduets overflatetemperatur ligge romluftstemperaturen og dermed liten avkjøling av luften ved vidusflaten.

De kreftene som virker i en slik stømning vil være oppdriftskrefter og friksjon mellom kontaktflate og luft som oppdriftskreftene setter i bevegelse. Oppdriftskreftene i det tilfellet at vinduet er kaldere enn romluften, vil virke nedover.

For strømmingen gjelder følgende:

1. Bevegelsesmengde dannes av oppdriftskreftene, og disse tapes ved friksjon mot begrensingsflat
2. Overført varmemengde bevares i konveksjonsstrømmen.



Figur 1. Konveksjonsstrøm langs en vertikal flate

Hastighets- og temperaturprofilene ved slike strømninger kan beskrives på følgende måte:

$$\frac{u}{u_0} = \left(\frac{y}{\delta}\right)^{\frac{1}{7}} \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^4, \text{ hvor } u_{\max} = 0,54 u_0$$

$$\frac{\Delta T}{\Delta T_f} = 1 - \left(\frac{y}{\delta}\right)^{\frac{1}{7}}$$

Varme- og impulsbalansen kan uttrykkes:

$$\frac{d}{dz} \left( \rho c_p \int_0^{\delta} u \Delta T dy \right) = q_k$$

$$\frac{d}{dz} \left( \rho \int_0^{\delta} u^2 dy \right) = \int_0^{\delta} g \rho \beta \Delta T dy - \tau_f$$

Friksjonen uttrykkes ved det lokale Re-tallet (Blassius)

$$\tau_f = 0,0456 \rho \frac{u_0^2}{2} \frac{1}{Re_{\delta}^{0,25}}$$

Ved å forutsette analogi mellom masse- og varmeovergang og at potensialfunksjoner gjelder for strømmingen fås:

$$U_m = 0,54 (g \beta \Delta T_f z)^{\frac{1}{2}} \quad \left(\frac{m}{s}\right)$$

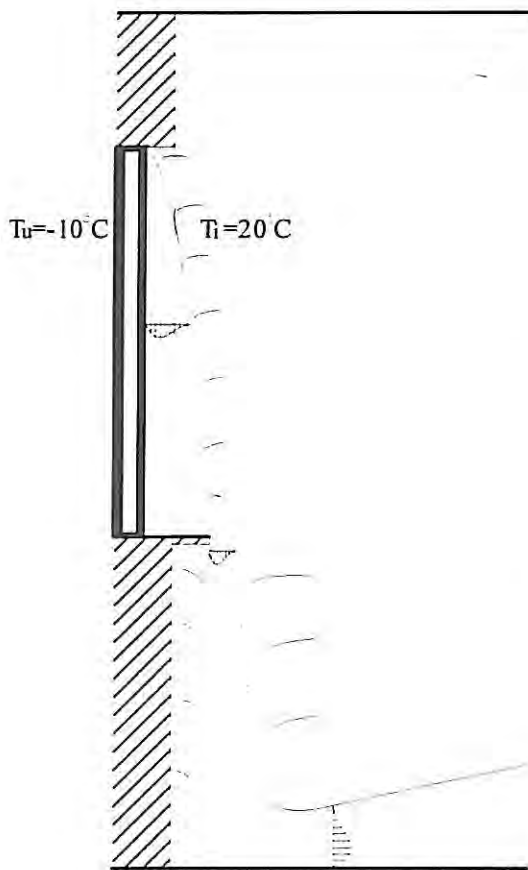
Tilsvarende får en for volumstrømmen:

$$V_k = 0,0114 (g \beta \Delta T_f)^{0,4} z^{1,2} \quad \left(\frac{m^3}{m s}\right)$$

Strålens utbredelse:

$$\delta = 0,0776 (g \beta \Delta T_f)^{-0,1} z^{0,7}$$

Maksimalhastigheten i strømmingen ligger ved glasset i avstand  $1/27$  av tykkelsen ( $\delta$ ).



Figur 2 viser antatte strømningsforhold ved kaldras fra vinduer. Luften som settes i bevegelse ved at den avkjøles ved vindusflaten, treffer vindusposten og bøyer av før den faller videre ned til gulvet.

Størst fare for trekk vil være like utenfor vindusposten hvor sittende personer får strømmingen inn mot nakkeregion, og ved gulv hvor luften strømmer ved anklene.

Luftens maksimalhastighet vil en finne nederst på glassflaten. Deretter vil den avta p g a. at varmetransporten fra vinduet opphører og ved at den induserte romluften etter hvert vil redusere maksimalhastigheten på luften ned mot gulvet.

Det er glassflaten som i hovedsak medfører at romluften avkjøles. U-verdier for glasspartiet er normalt noe bedre enn for vinduet som helhet.

Figur 2. Strømningsforhold ved kaldras

Vinduspost, planter, gardiner o.l. vil medføre at den virkelige hastigheten blir lavere enn den en beregner teoretisk.

### **Beregningseksempel**

For to-glass vinduer med krypton gassfylling og U-verdier på 1,5 og 1,6 W/m<sup>2</sup> °C er U-verdien for selve glasspartiet 1,4 W/m<sup>2</sup> °C. Figur 3 viser maksimalhastigheten på luften for forskjellige vindushøyder med en utetemperatur på -10 °C, innetemperatur på 20 °C og innvendige varmeovergangstall etter NS 3031 (7,67 W/m<sup>2</sup> °C).

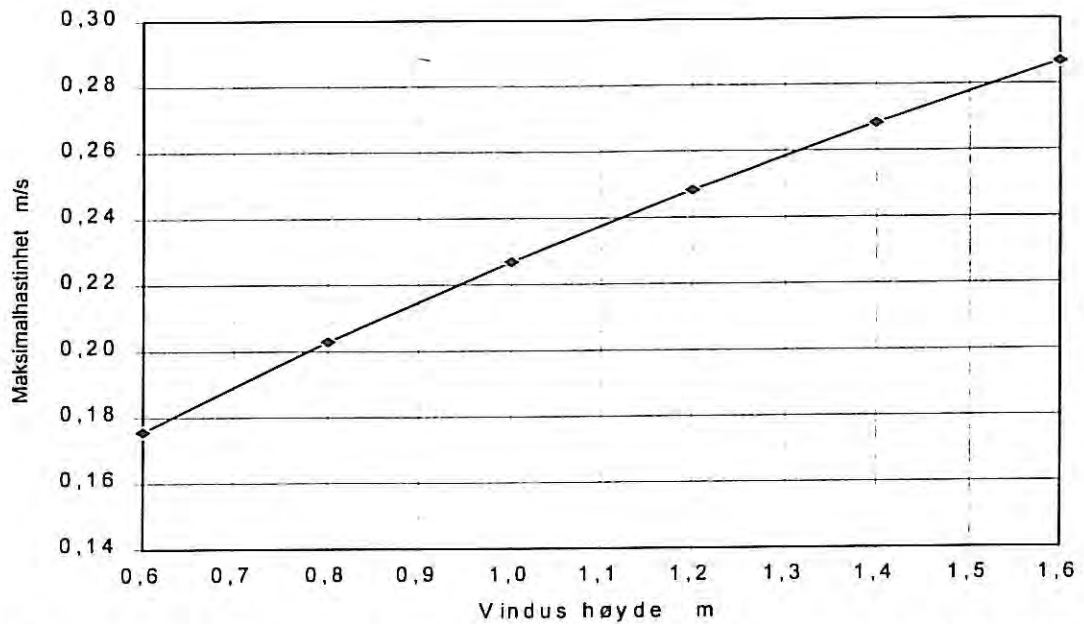
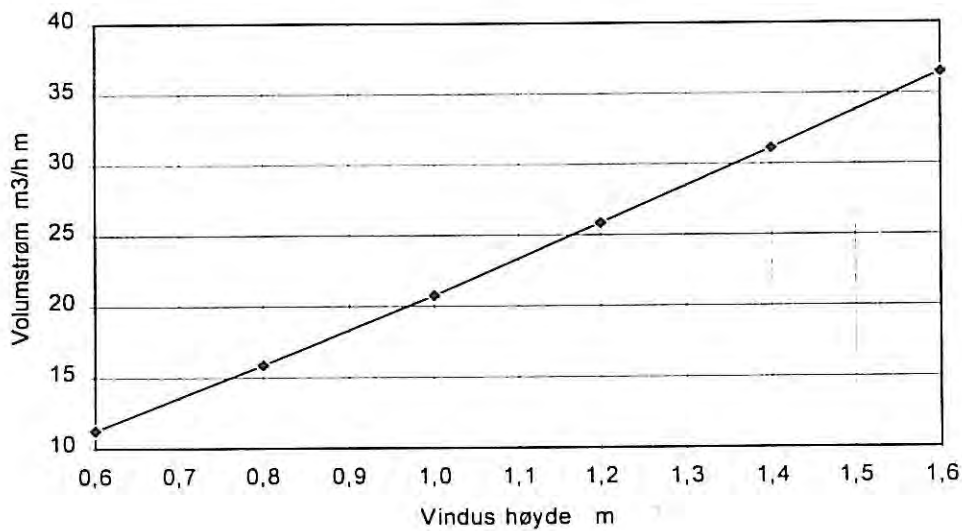


Fig 3. Maksimalhastighet som funksjon av vindushøyde, U-verdi glass 1,4 W/m<sup>2</sup> °C.

Tilsvarende blir volumstrømmen i underkant vinduglasset:



Figur 4. Volumstrøm pr. m vindusbredde som funksjon av vindushøyde, U-verdi glass 1,4 W/m<sup>2</sup> °C.

Vinduenes varmetap er:

$$q_k = U_{\text{vindu}} z (T_{\text{inne}} - T_{\text{ute}}) \quad (\text{W/m bredde})$$

For et 1,5 m høyt vindu med U-verdi lik 1,5 kan en forvente at maksimalhastigheten i underkant av vinduet blir 0,28 m/s og med en volumstrøm på 34 m<sup>3</sup>/h pr. m vindusbredde, og at det har et varmetap på 68 W/ pr. m vindusbredde.

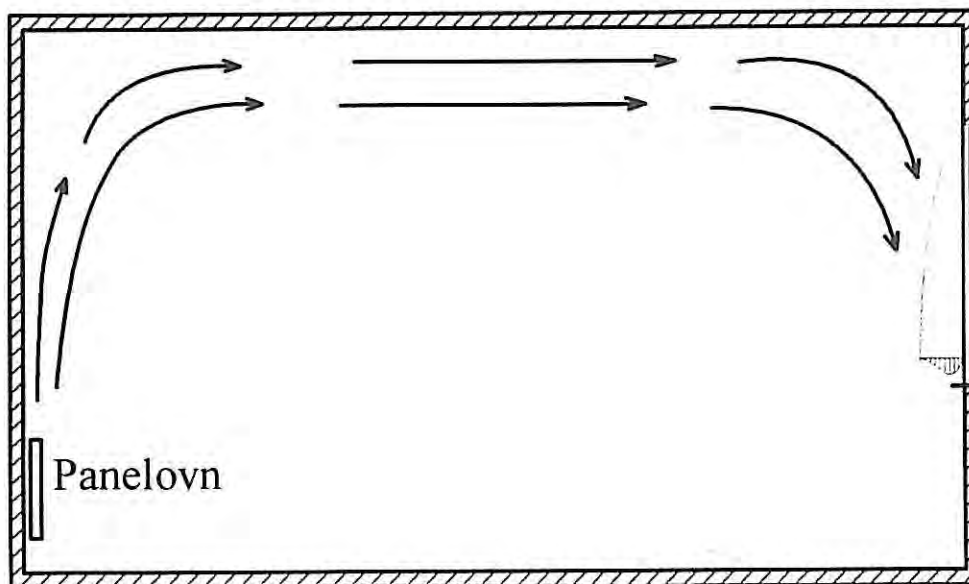
Denne hastigheten er så stor at den vil kunne medføre trekkproblemer. Den virkelige hastigheten etter vindusposten vil normalt være noe lavere. Ved gulvet vil maksimalhastigheten avta ytterligere. Antar en at strømmingen oppfører seg som en plan isoterm stråle, og en bruker maksimalhastigheten til kaldraset som "input" til denne stålen fås:

$$u_x = 2,5 u_{\max} \left(\frac{b}{x}\right)^{0,5}, \text{ hvor } b \text{ er tykkelsen på strålen og er satt til } 0,5 \delta.$$

For et vindu som er 60 cm fra gulvet gir dette en hastighet ved gulvet på ca. 0,20 m/s.

For å motvirke kaldraset installeres det panelovner under vinduet. Størrelsen på disse må være slik at de dekker vinduets varmetap.

Plassering av panelovner på innervegg vil kunne medføre at trekkproblemene forsterkes ved at luften som induseres i kaldraset inneholder vertikalhastighet slik det er vist på figur 5 (Grunne rom).



Figur 5. Panelovn plassert på innervegg



## **Bilag 2**

### **1 BOLIGVENTILASJON**

Installasjoner og anlegg for boligventilasjon skal gi tilfredsstillende ventilasjon under alle forhold. Ventilasjonen skal oppfattes som komfortabel av brukeren, og det er spesielt viktig å unngå trekk og støy. Anleggene skal være energieffektive samt enkle å betjene og vedlikeholde. Energieffektiv drift er en avbalansering mellom å ventilere nok og å hindre unødvendig stort energiforbruk. Et velfungerende og energioptimalt ventilasjonssystem krever derfor at ventilasjonen til enhver tid er tilpasset behovet, noe som betyr at ventilasjonsanlegget skal være utstyrt med hensiktsmessige og brukervennlige kontrollinnretninger.

Ved naturlig ventilasjon vil målsettingen være å utnytte de naturlige drivkreftene optimalt, mens det ved med mekanisk ventilasjon er en fordel å skjerme seg mot de naturlige drivkreftene (spesielt vindkreftene) best mulig. Målet er her imidlertid ikke å overvinne de naturlige drivkreftene, men mer å nøytralisere dem.

Ved avtrekksventilasjon er det i dag vanlig å tilføre uteluften direkte gjennom enkle ventiler i fasadene (klimaskjermen). Dette medfører en god del problemer, først og fremst på grunn av at disse ventilene blir eksponert direkte for vindkreftene, men også at det, av hensyn til å motvirke vindkreftene, benyttes så høye trykkfall i avtrekkskanalen at det oppstår både interne og eksterne (for naboene) støyproblemer. Ventiler i fasadene vil bli utsatt for vindtrykk på byggets vindside og vindsug på byggets le-side. Denne vindefekten kan ikke uten videre nøytraliseres og vil uvegerlig føre til store reguleringsproblemer. En risiko er overventilering både i form av økte drivkrefter i avtrekksystemet og i form av ukontrollert kryssventilering. En annen risiko er manglende styring på luftfordelingen til de enkelte rom. Et annet problem er at når boligen består av flere enn en etasje kan det oppstå ukontrollert naturlig tilleggsventilasjon ved at ventilene i de øverste etasjene virker som avtrekksventiler. Dette problemet vokser med økende luftlekkasjer i klimaskjermen. Det er en utfordring å utvikle andre løsninger enn disse enkle systemene.

### **2 FRAMTIDSRETTET AVTREKKSVENTILASJON I BOLIGER**

Avtrekksventilasjon i boliger (naturlig eller mekanisk) har ikke gjennomgått noen vesentlig utvikling i løpet av de siste årtier. Det er snarere slik at gammel kunnskap og erfaring er verken tatt vare på eller bygd videre på. Uteluftventiler i fasadene har alltid vært og er fortsatt problematisk (spesielt ved manuell regulering) med hensyn både til luftfordelingen og til kontroll av den totale ventilasjonen. Det er også problematisk å få til filtrering av den tilførte uteluften i tillegg til at gjenvinning av varme fra avtrekksluften for forvarming av uteluften ikke kan gjennomføres. I tillegg representerer hull i fasadene en punktering av lydisolasjonen. Ventilene må da konstrueres slik at denne punkteringen nøytraliseres. Endelig er det store problemer med støyende vifter og trekkfull lufttilførsel.

## 21 Prinsipp

Ulempene med tilførsel av uteluft gjennom ventiler i fasadene kan unngås ved innvendig sentral utluftføring. Tilluftkanalen vil riktignok gi et tillegg til strømningsmotstanden, men dette kan i stor utstrekning kompenseres ved å justere kanaldimensjonene.

De naturlige drivkrefter endres ikke når uteluften tilføres via kanal innvendig i bygningen. Med ren naturlig ventilasjon kan både vindkrefter og termisk oppdrift nå utnyttes både mer effektivt og mer kontrollerbart i forhold til ventiler i fasadene. Den økte strømningsmotstanden for lufttilførselssystemet kan her kompenseres ved en mer effektiv utnyttelse vindkreftene.

Totalt sett vil en både ved naturlig og mekanisk avtrekk få et mer funksjonelt system når en går over til innvendig lufttilførsel.

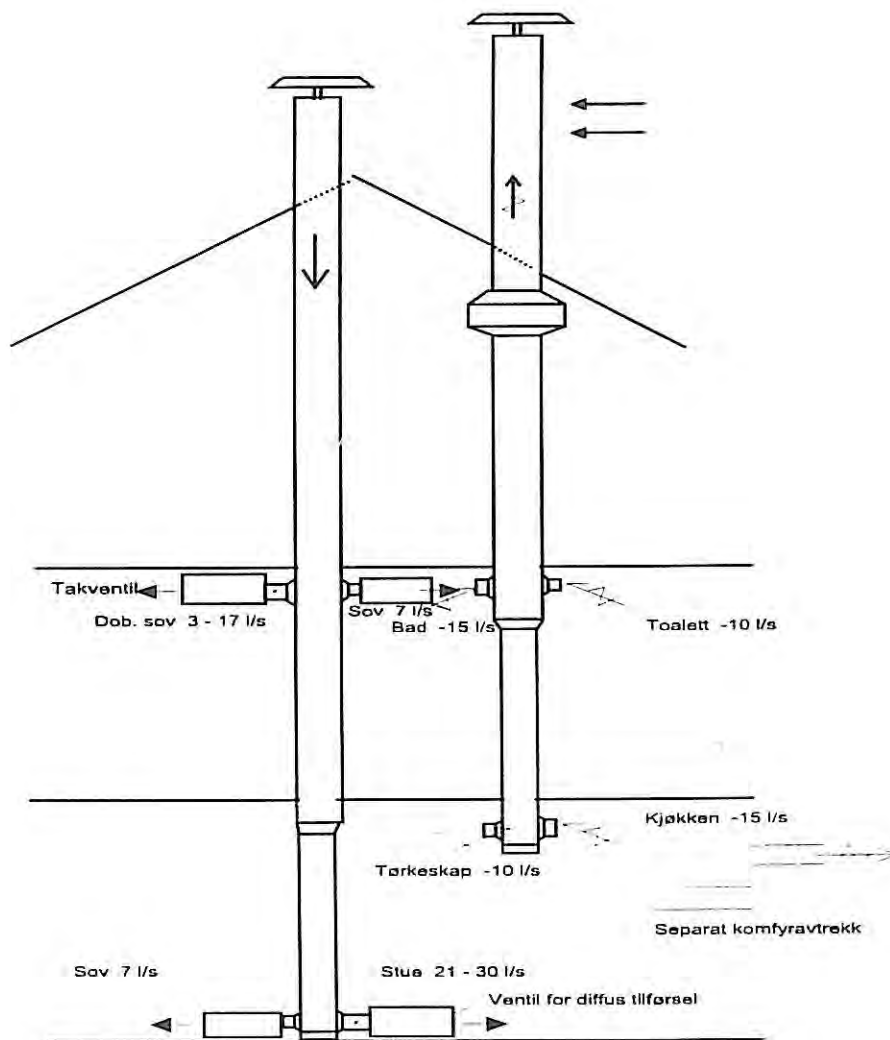


Fig. 1  
Avtrekkssystem med innvendig lufttilførsel

Prinsippet er illustrert i fig. 1. Luften fordeles til de enkelte rom gjennom korte kanaler fra en sentral vertikal hovedkanal/sjakt. Ved at fasadene nå kan lukkes, blir det bare husets tetthet som begrenser mulighetene for styring og regulering av ventilasjonen. Ved at uteluften nå kan tilføres bygningen samlet, gir dette også gode muligheter for **filtrering** og **behovstyring** av tilluften. Filtrering av tilluften øker imidlertid strømningsmotstanden på tilluftsiden og dermed undertrykket i bygningen. Undertrykket i bygningen bør ikke bli for stort da dette både fører til økt lufttilførsel gjennom bygningens utettheter (som ikke kan styres) og til ubehagelige effekter og problemer ved åpning og lukking av dører. Det skytes her inn at økt undertrykk minsker andelen av den luftmengden som går utenom avtrekket (eksfiltrasjonen), noe som er en fordel, spesielt ved installasjon av **varmegjenvinner**. Tekstile sperrefiltre gir i prinsippet større motstand (trykkfall) enn elektrostatiske filtre, men motstanden er avhengig av dimensjonene og kan i prinsippet gjøres så liten som man ønsker. Kostnadene øker imidlertid med økende dimensjoner slik at teknisk/økonomiske forhold setter grensene. **Elektrostatiske filtre** er derfor i utgangspunktet best egnet. En annen fordel med elektrostatiske filtre er at strømningsmotstanden ikke blir nevneverdig påvirket av hvorvidt filteret er rent eller nedsmusset.

**Behovstyring** av ventilasjonen kan gjøres manuelt eller automatisk. Enkle sentralt plasserte og lett tilgjengelige omkoplingsskjeld kan installeres slik at brukeren kan veksle mellom å prioritere lufttilførsel til stue og soverom.

Endelig har prinsippet store **støymessige fordeler**. Drivtrykket på avtrekksviften kan senkes betraktelig i forhold til tradisjonell mekanisk avtrekksventilasjon. Dette gir som resultat en vesentlig reduksjon av støynivået.

## 22 Stabilisering av drivkreftene

Ved mekanisk avtrekk er det en fordel å stabilisere de naturlige drivkreftene. Her er det vindkreftene som varierer mest både med hensyn til frekvens og størrelse. Det er imidlertid i stor utstrekning lett å nøytralisere disse. Måten å gjøre dette på er å konstruere og plassere luftinntak og avkast slik at de får tilnærmet samme vindtrykkskoeffisient. Da det er en fordel å holde undertrykk i bygningen, konstrueres tilluft og avkast slik at vindens sugekrefter stabiliseres og utbalanseres. Stabilisering og utbalansering av vindkreftene betyr at vindsuget blir likt, og at vindretningens innvirkning blir lik i avkast og luftinntak. Vindkreftene kan da variere mye uten at dette vil påvirke luftkapasiteten i nevneverdig grad. Den enkleste konstruksjon som virker som beskrevet, er vertikale sirkelrunde kanaler med fritt utløp. I praksis må kanalene utstyres med hetter for å beskytte dem mot nedbør. Hettekonstruksjonen må da være slik at den beskrevne funksjonen opprettholdes.

Den termiske oppdriften er det imidlertid vanskelig å gjøre noe med, annet enn å dimensjonere anlegget med et trykkfall som er f.eks. fire ganger den maksimale termiske oppdriftskraften.

Eksempel: Det er 5 m høydeforskjell mellom laveste tilluftspunkt og toppen av avtrekkskanalen. Oppdriftskraften ved 40 °C temperaturdifferens inne-ute blir da 8 Pa noe som gir et dimensjonerende trykkfall på 32 Pa ved normal luftmengde. Viften dimensjoneres da for 32 Pa ved normal luftmengde. Typisk total strømningsmotstand for både tilluft og avtrekk og som avtrekksviften skal overvinne vil for den beskrevne

løsning ligger i området 30 - 50 Pa, mot 100 - 150 Pa for eksisterende løsninger. Energiforbruket for viftene vil bli mindre enn tredjeparten av det som er vanlig for dagens løsninger og i størrelsesorden 10-20 W for 50 l/s.

En vindhastighet på 8,5 m/s (frisk bris) gir et vindtrykk på 45 Pa, noe som krever 150 Pa viftetrykk for en rimelig nøytralisering av vindkraftene med en tradisjonell løsning. Dette forklarer også hvorfor det tradisjonelt benyttes såvidt høye drivtrykk.

### **3 PLANLEGGING OG UTFØRELSE**

#### **31 Planløsning**

Når avtrekksventilasjon skal benyttes i en bygning, er et godt resultat alltid avhengig av at det tas både arkitektoniske og konstruksjonsmessige hensyn ved utformingen av bygningen. Med andre ord kreves det at en nøye tenker igjennom planløsningen. Det må innføres en ny praksis når planløsningen skal fastlegges. Denne praksis går ut på å planlegge trasé og avsette plass for tilluft og avtrekksluft når planløsningen bestemmes. I prinsippet kan tilluft og avtrekk lokaliseres til forskjellige akser, men med tanke på å utvikle systemet videre med sikte på varmegjenvinning er det en fordel å trekke de vertikale kanalføringene på samme sted i bygningen. En planløsning med f.eks. en "teknisk kjerne" kan være et gunstig utgangspunkt i denne sammenheng.

Ventilasjonskanalene kan da føres i en vertikal sjakt, slik plassert at det blir kortest mulig horisontal føringsvei til de rommene som skal betjenes, noe som legger bånd på planløsningen. Kanaler kan legges i bjelkelag, men da fortrinnsvis parallelt med bærebjelkene. Alle oppholdsrom skal ha lufttilførsel, unntatt kjøkken som med fordel bare forsynes med avtrekk.

#### **32 Tilluft, forvarming og avtrekk**

Luften tas inn gjennom et luftinntak med samme negative vindtrykkskoeffisient (sug) som avtrekket og med samme retningskarakteristikk, fig. 1. Luften strømmer videre gjennom hovedkanal og avgrenes til de enkelte rom. Ved riktig planløsning (teknisk kjerne) blir kanalføringen svært kort. Avtrekksluften trekkes av fra hygiene-/våtrom og kjøkken til en felles samle-/stige kanal og blåses til slutt ut gjennom avkast i en takhatt med stabilt vindsug, utformet som beskrevet foran.

Tilluftsventiler og avtrekksventiler kan være av samme type som benyttes i standard anlegg for balansert ventilasjon. Tilførsel av ubehandlet uteluft gir trekkrisiko. Den nye måten å tilføre uteluften på åpner imidlertid for muligheten for forvarming.

Forvarmingsbatterier kan plasseres i hovedkanalen eller fordeles på grenkanalene. Luften bør forvarmes til 16-20 °C, høyest om vinteren. Selve oppvarmingen av huset bør skje med romvarmelegemer.

Tilluftsventiler plasseres øverst på veggen eller i taket, når dette er ventiler for omrøringsventilasjon, så nær hovedkanal (sjakt) som mulig. Ventilene må dimensjoneres med hensyn til trykkfall og trekkrisiko. Da det skal tilstrebes lavt trykkfall vil støygenerering i ventilene ikke være noe problem. Det bør være overstrømningsåpninger mot tilstøtende sekundære rom slik at det ikke oppstår interne trykkforskjeller som kan påvirke ønsket luftfordeling. Overstrømningsåpningene bør

være plassert høyest mulig i det primære rommet, f.eks. spalte over dør, men lavt inn til de rommene som har avtrekk (bad, WC, vaskerom osv).

Lavt plaserte tilluftsdon for diffus lufttilførsel er en god løsning når luften kan forvarmes.

Dimensjoneringen av tilluftsystemet bør skje ut fra et totalt trykkfall på ca 5-8 Pa ved dimensjonerende luftmengde.

### 33 Energieffektivitet

En ytterligere fordel med det viste systemet er at det, i tillegg til muligheten for filtrering av tilluften, har innebygd muligheten for varmegjenvinning.

Varmegjenvinning vil kunne gjøre systemet meget energieffektivt. Høy energieffektivitet krever imidlertid relativt lufttette klimaskjermer, helst ett lekkasjetall på 1 ( $n_{50}=1$ ) eller bedre. Ved  $n_{50}=1$  og et undertrykk i huset på 6 Pa vil infiltrasjonen bli i størrelsesorden 0,2 luftvekslinger. Dette er da uteluft som vil gå utenom varmegjenvinneren. Eksfiltrasjonen blir imidlertid meget liten, d.v.s. at praktisk talt all avtrekksluft vil passere varmegjenvinneren.

Løsninger og komponenter som fremmer energieffektiv og inneklimaliktig drift av ventilasjonsanlegg basert på mekanisk avtrekk er mangelvare. Her er det et klart potensiale for produktutvikling, ikke minst utvikling av produkter for automatiske reguleringsystemer.

## 4 VARMEGJENVINNING

Trykkfallet (strømningsmotstanden) på tilluftsiden bør ikke overstige 10 Pa, anbefalt 5-8 Pa. På avtrekksiden er motstanden ikke så kritisk, men for å unngå støy fra avtrekksviften bør den totale motstanden ikke overstige 40-50 Pa. Disse begrensningene setter rammene for løsningen på varmegjenvinner spørsmålet.

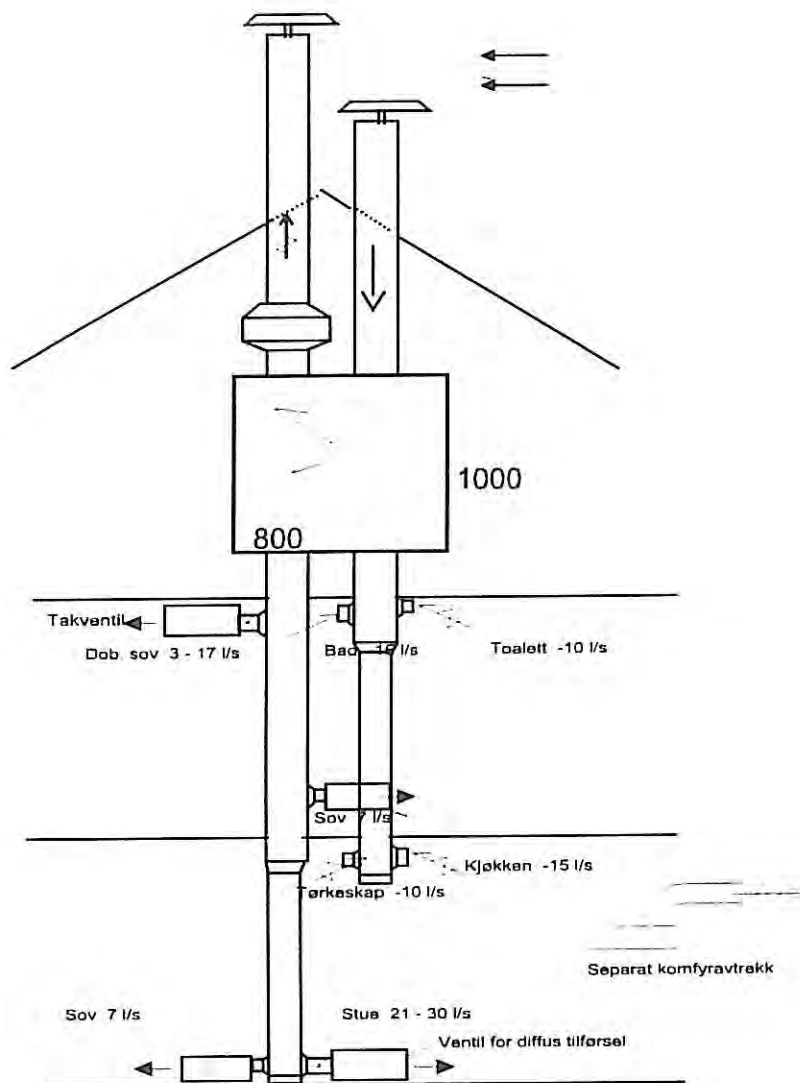


Fig. 2  
Avtrekkstilpasning med kryssvarmegjenvinner

Aktuelle løsninger kan være motstrøms eller krysstrøms plategjenvinnere, roterende regenerative gjenvinnere og gjenvinnere av typen heat-pipe som er fylt med et kondenserende/fordampende medium basert på selvsirkulasjon.

#### 42 Plategjenvinnere

Av hensyn til trykkfallet må konstruksjonen gjøres relativt åpen i tillegg til at hastigheten må være lav. Dette fører til et forholdsvis lavt varmeovergangstall med derav følgende relativt store varmeoverførende flater. Gjenvinneren kan lages av valgfritt materiale, papir, plexiglass, plast, laminater, aluminium osv. Produktutvikling er nødvendig, men med noe tilpasning kan eksisterende produkter anvendes. Løsningen er i prinsippet vist i fig. 2.

Plategjenvinnere er utsatt for kondensering av vanndamp i avtrekksluften, og det er også en viss fare for gjenfrysing når virkningsgraden er høyere enn 50 %. Det er viktig at kondensatet ledes vekk slik at det blir nødvendig å installere kondensatavløp.

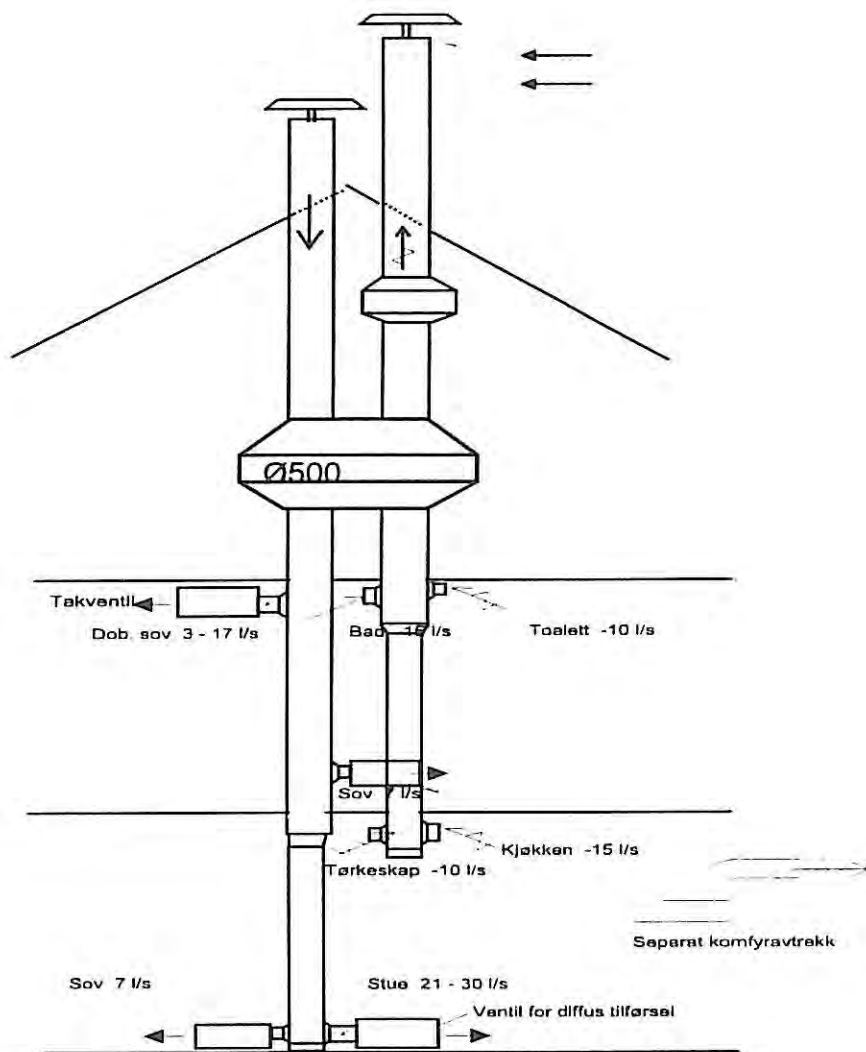


Fig. 3. Avtrekksventilasjon med roterende varmegjenvinner

#### 43 Roterende (regenerative) gjenvinnere

Denne gjenvinnertypen kan lages mer kompakt enn en plategjenvinner og kan romme større varmeoverflate per volumenhet og gi større virkningsgrad. Selve konstruksjonen og driftsmåten gir en liten men uproblematisk resirkulasjon av avtrekksluft. Fordelen med den roterende gjenvinneren er at den ikke gir kondens selv ved høy virkningsgrad og dermed ikke frostproblemer eller problemer med bortføring av kondensat.

Trykkfallet blir også ubetydelig. Gjenvinnerhjulet dreies rundt ved hjelp av en liten elmotor med drivrem. Virkningsgraden kan reguleres med hjulets rotasjonshastighet. Derfor bør rotoren og turtallet styres med hastighetsregulert drivmotor. Gjenvinneren bør beskyttes mot nedgroing ved hjelp av planfiltre som tar grovt og langfibret støv. Ytterligere rensing av tilluften kan man få til med elektrofilter. Løsningen er vist i prinsippet i fig. 3.

Materialet i rotoren kan være papir (wellpapp), plast eller aluminium. Benyttes wellpapp, kan en tenke seg en bruk og kast løsning. Når rotoren er tilsmusset, kan den bare kastes. I første omgang er det aktuelt å tilpasse standard rotor av f.eks. aluminium til dette nye bruksområdet. Det skulle være store muligheter for en brukervennlig installasjon og et marked for produktutvikling.

### Bilag 3

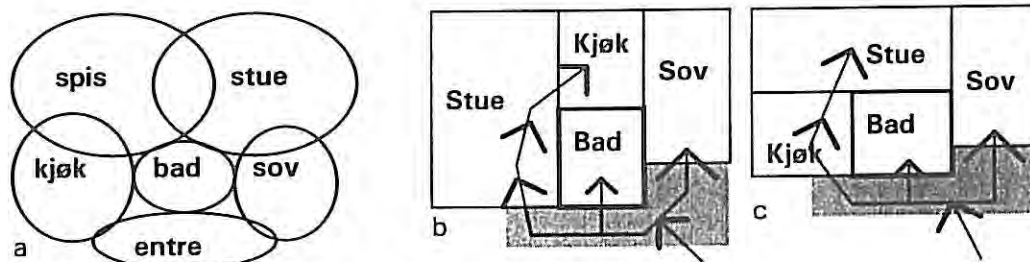
#### 1 HUSTYPE, PLANLØSNING OG BRUKSEGENSKAPER

Grunnlag: Krav til hustypen.

Salgbarhet, økonomi, teknisk og boligmessig funksjon stiller krav til hustypen:

- Den må kunne innpasses i alle vanlige tomtesituasjoner
- Den må være i 1 1/2 etasje
- Den må ha livsløpsstandard: stue, kjøkken, bad og soverom på inngangsplanet
- Arealet må utnyttes effektivt; mest mulig til oppholdsrom; kompakt trafikkareal
- Annen etasje må ha to soverom, bad og ett oppholdsrom/stue/soverom
- Alle rør og kanaler må kunne gå i vegg mellom kjøkken og bad
- Tekniske installasjoner må samles i en sentral, teknisk kjerne

Kravene om livsløp standard og en sentralt plassert teknisk kjerne innebærer at kjernen må knyttes til ett volum (badet) som ikke behøver dagslys og fire volumer (kjøkken, stue, spiseplass, soverom) som skal ha dagslys. Vindfang/entré kommer i tillegg. Dette har store konsekvenser for planløsningen:



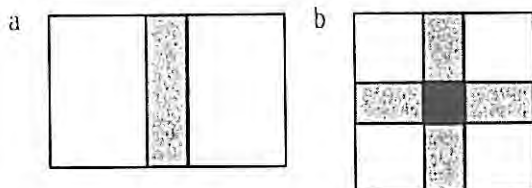
Rommene må "pakkes" kompakt rundt kjernen.

Badet må ligge nær inngangen. I en kompakt løsning vil da kjøkkenet (b) eller stua (c) få dårlig forbindelse med inngangen. I (b) kan heller ikke soverommet innlemmes i stua.

Kravene til energiøkonomi og god, arealøkonomisk planløsning av inngangsplanet er i konflikt: Siden oppholdsrommene skal ha felles vegg med kjernen, må de ligge inntil og rundt den. Passasjer rundt kjernen (diagram a-c), vil da belaste stua og kjøkkenet. I tillegg blir inngangssonen (skravert på b og c) arealkrevende fordi den forbinder tre ulike rom, og en arealøkonomisk planløsning er nærmest umulig. Løsning forutsetter et kompromiss: med én kanalforbindelse til kjernen behøver bare tre av romsonene ha felles vegg med kjernen.

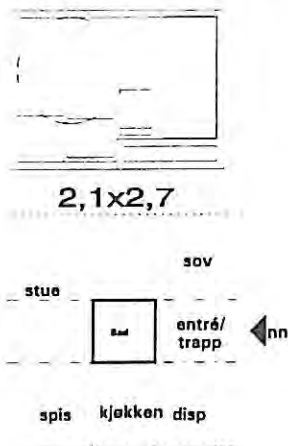
#### 11 Basis for planløsningen

Det sentralt plasserte badet (kjernen) fastlegger akser og de viktigste dimensjonene i planen.



Planen må bygges opp rundt en midtsone - enten som en vanlig midtsoneplan (a), hvor en smal midtsone skiller to bredere soner for oppholdsrom, eller en plan med to kryssende midtsoner (b), som armene i et kors.



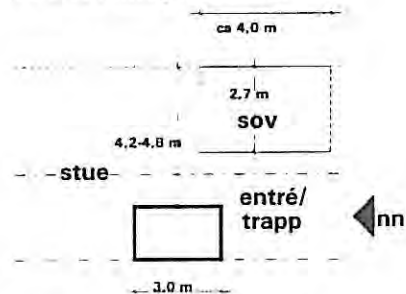
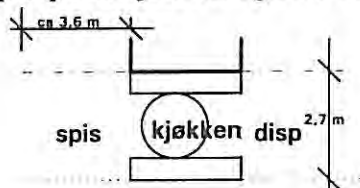


Badet bestemmer dimensjonene på midtsonen. Derfor er den mest kompakte løsningen<sup>1</sup> av et bad med livsløpsstandard (figuren) lagt til grunn for planløsningen.

Romprogrammet for første etasje gjør det naturlig å velge aksesystemet med to kryssende midtsoner: Plasseringen av rommene innenfor aksesystemet følger prinsippdiagrammene.

## 12 Planløsning/hustype

- Badet dimensjonerer midtsonen: Veggen mellom bad og kjøkken blir ca 3,0 m, men rommet blir smalt. Det gir plass til passasje og pipe på siden mot stua og soverommet.
- Spiseplass/kjøkken og stue/soverom dimensjonerer hver sin ytre sone:



Hovedspiseplass forutsetter ca 2,4 m x 2,4 m pluss snusirkel for rullestol (kan overlappes med en stol).

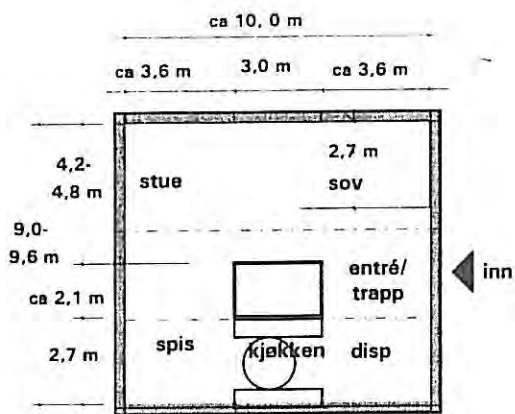
"Parallellkjøkken" gir en kompakt kjøkkenløsning: bredde 2 m x 0,6 m (benker) + 1,4 m (snusirkel). Totalt 2,6 m

Stua kan oppta tre av rutene i rasteret, men kan ikke *fylle* alle tre, for en økonomisk løsning av inngangssiden tvinger soverommet inn i midtsonen mot stua.

Kritiske mål: Soverom: 2,7 m x ca 4,0 m.  
Dør til stue: 9M + 0,5 m sideplass

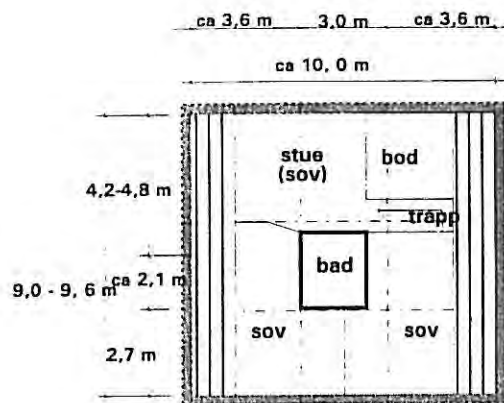
Hustypen får grunnflate på ca 90 m<sup>2</sup> og blir omtrent kvadratisk:

<sup>1</sup> God arealøkonomi oppnås fordi betjeningsarealet foran servanten, snusirkelen for rullestol og sideplassen ved klosettskålen overlapper. Overlappingen skyldes utføringen av veggen bak klosettskålen. Utføringen er nyttig i vårt tilfelle, hvor plass trengs til tekniske installasjoner. I tillegg ligger alle rørføringer langs én vegg: Veggen som bad og kjøkken må ha felles.



Plan første etasje

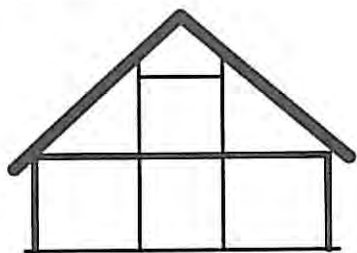
- Soverommet tilfredsstiller livsløpsstandarden og kan slås sammen med stua eller være avdelt som separat rom.
- Badet innredes som vaskerom, med klosettskålen montert. Badet blir i annen etasje.
- Disponibelt areal knyttes til kjøkkenet; stort spisekjøkken er etterspurt.



Plan annen etasje

Annen etasje får tre rom: to soverom og en loftstue/tre soverom i tillegg til badet (i kjernen). Men et godt bad må ha noe mer areal enn det i første etasje. For brukskvalitetene er det et problem at soverommene blir langsmale, med dør på den ene kortveggen og vindu på den motstående.

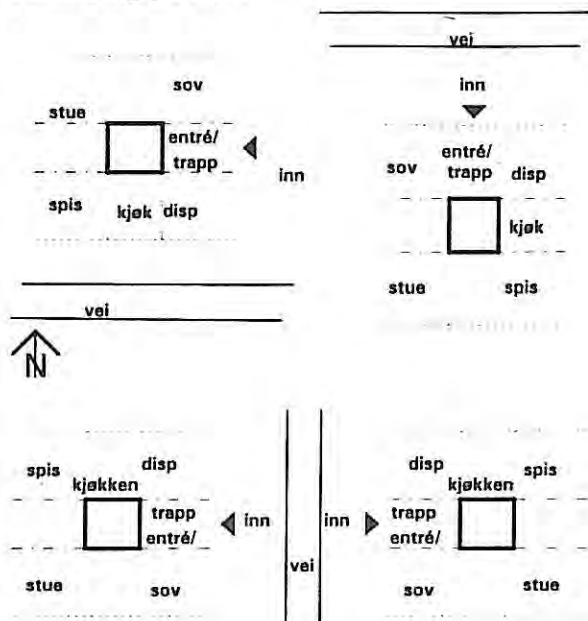
### 13 Eksteriør



snitt

Dimensjoneringen er problemet. For å få en mest mulig kompakt løsning med liten ytterveggflate (for god energiøkonomi og lave byggekostnader) er huset nesten kvadratisk. Men funksjonene på inngangsplanet krever mye areal. Det gjør at gavlene blir brede, og det arkitektoniske uttrykket blir slapt, ikke ulikt de sterkt kritiserte "tyrolerhusene".

## 14 Plassering på tomt



Ligger veien på sydsiden av huset, kan stua orienteres mot vest, men hovedinngangsdøra må vende mot tomtegrensa i øst. Går veien på nordsiden av huset, oppnås syd- og vestvendt stue uten problemer. I begge tilfellene kan garasjen ligge mot tomtegrensa eller parallelt med veien. Hvis atkomsten til huset er på øst- eller vestsiden, kan stua kan orienteres mot syd og vest. Garasjen kan ligge mellom veien og huset - parallelt med veien - eller på nordsiden av huset.

## 15 Sluttbearbeiding

De fleste problemene er løst, men hustypen har svakheter:

### Positive trekk

Én sentral (teknisk) kjerne

Ventilasjon direkte til kjernen; minimalt med kanaler.

Konsentrert røropplegg i kjernen

Økonomisk husform som er enkel å bygge

Stort volum med liten ytterveggs- og takflate

Mye areal til oppholdsrom; lite sirkulasjonsareal

### Problemer

Dimensjoner på soverom i annen etasje

"Slapt" arkitektonisk uttrykk

Bod mangler i første etasje

Problemene med det arkitektoniske uttrykket kan rettes på tre måter: "kosmetisk", dvs. med elementer i fasaden, f.eks. vertikale vindusfelt, med inntrekk/utstikk som demper den brede hovedformen eller med andre dimensjoner på huset, f.eks. en mer rektangulær form. Arkitektonisk er den siste best. Men blir huset smalere, går det ut over soverommene oppe, og de er allerede i smaleste laget.

En kombinasjon av de tre alternativene løste problemet. Huset ble gjort smalere og fikk to utstikk, ett på hver av langsiden (et kompromiss i forhold til energiøkonomien).

"Kosmetisk" behandling av gavlfasadene omfatter en tilbygget bod; øvrig behandling var ikke nødvendig; den smalere hovedformen gjør "reisningen" bedre.

