

Per Gundersen

Rimelige lavenergiboliger

Konseptutvikling

BYGGFORSK

Norges byggforskningsinstitutt

Per Gundersen

Rimelige lavenergiboliger

Konseptutvikling

Prosjektrapport 150 – 1994

Prosjektrapport 120

Per Gundersen

Rimelige lavenergiboliger

Konseptutvikling

ISSN 0801-6461

ISBN 82-536-0448-3

100 eks. trykt av

S. E. Thoresen as

Cyclus resirkulert papir

omslag 200 g, innmat 100 g

© Norges byggforskningsinstitutt 1994

Adr.: Forskningsveien 3B

Postboks 123 Blindern

0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 00

Fax: 22 69 94 38 og 22 96 55 42

Innhold

FORORD	3
SAMMENDRAG	5
1 INNLEDNING	7
2 VALG AV HUSTYPE, ROMPROGRAM OG PLANLØSNING	10
2.1 Utforming og orientering	10
2.2 Husbankens kriterier for belåning	14
2.3 Hustype, romprogram og arealforbruk	14
2.4 Funksjonskrav, arealdisponering, plassering og fordeling av bofunksjonene	16
2.5 Konstruktive hensyn	18
2.6 Utvikling av et planprinsipp med en sentralt plassert kjerne	19
2.7 Bad i kjernen	20
2.8 Installasjoner i kjernen	21
2.9 Utforming og planløsning av en rimelig lavenergibolig	23
3 TEKNISKE INSTALLASJONER	26
3.1 Ventilasjonsanlegget	26
3.1.1 Overordnede kriterier for utforming av ventilasjonsanlegget	28
3.1.2 Integrering av ventilasjonsanlegget i boligen	29
3.1.3 Luftfordeling i referanseboligen	30
3.2 Vann- og avløpsanlegget	32
3.3 Elektriske installasjoner, varmeanlegget	34
4 KLIMASKJERMEN	35
4.1 Lufttetthet	35
4.2 Kostnadseffektiv veggkonstruksjon med lav U-verdi	36
4.2.1 Bestemmelse av U-verdier	40
4.2.2 Vurdering av veggens total kostnader	41
4.3 Tak	42
4.4 Vinduer	42
4.4.1 U-verdi og solfaktor for vinduer i en lavenergibolig	43
5 GULV PÅ GRUNNEN	44
5.1 Alternative energi- og kostnadseffektive løsninger	44
5.1.1 Betonggulv har stor varmetreghet	45
5.1.2 Varmetap og U-verdi	46
5.1.3 Frostsikring	48
5.1.4 Kuldebroer	48
5.2 Lett gulvkonstruksjon uten bruk av betong	49
5.3 Gulv på grunnen og gulvvarme	52
5.4 Trykkfast isolasjon	55
5.5 Dimensjonerende last på ringmuren	57
5.6 Orienterende laboratoriemålinger	57
5.6.1 Linjelaster	60
5.6.2 Punktlaster	61
5.6.3 Oppsummering	63
5.7 Fullskala utprøving av en lett gulvkonstruksjon	63
5.7.1 Linjelast	66
5.7.2 Punktlast	68
6 ENERGI- OG EFFEKTBREGNINGER, RAMMEBETINGELSER	70
6.1 Energirammer	70
6.2 Energi- og effektberegninger	70
6.2.1 Energi- og effektberegninger etter gjeldende byggeforskrifter	70

6.2.2	Energi- og effektberegninger etter dagens praksis	73
6.2.3	Energi- og effektberegninger, lavenergiboligen	75
6.3	Parameterstudie for energi- og effektbehov, kostnader	78
6.3.1	Økonomiske vurderinger.....	78
6.3.2	Vinduer.....	79
6.3.3	Temperatursoning	81
6.3.4	Ventilasjon og varmegjenvinning.....	81
6.3.5	Infiltrasjon.....	83
6.3.6	Vegger	84
6.3.7	Tak	85
6.3.8	Gulv på grunnen.....	86
6.3.9	Oppsummering.....	87
7	PRODUKSJON AV VARMT TAPPEVANN	88
7.1	Vannbesparende varmtvannsutstyr.....	89
7.2	Aktiv solvarme.....	89
7.3	Varmegjenvinning fra grått avløpsvann	89
7.3.1	Gjennomsnittstemperaturen på gråvannet	90
7.3.2	Konstruktive prinsipper	91
7.3.3	Prototyp	92
7.3.4	Funksjonsvurderinger	94
7.3.5	Nødvendig vannvolum.....	97
7.3.6	Potensialet for varmegjenvinning	98
8	MATERIALVALG.....	99
9	RERERANSER	99

FORORD

Prosjektes målsetting er å utvikle og bygge rimelige boliger med lavt energiforbruk, såkalte lavenergiboliger, som har et godt inneklima og gode brukeregenskaper. Med lavenergi forstås boliger med et samlet behov for kjøpt energi på ca. 100 kWh/m², dvs. under halvparten av dagens forbruk med referanse i gjeldende byggeforskrifter. Med rimelige boliger menes boliger som er konkurransedyktige i dagens marked når anleggs- og årskostnadene ses under ett.

Skal man bygge miljøvennlige lavenergiboliger til en akseptabel kostnad, må tiltak for å spare energi og samtidig sikre et godt inneklima inngå som vesentlige elementer i boligkonseptet. Dette betyr f.eks. at aktuelle energisparetiltak med tilhørende installasjoner må være samordnet og integrert i bygningskonstruksjonen på en langt bedre måte enn tilfellet er i dag. Skal man nå denne målsettingen, innebærer dette en systematisering og kartlegging av kunnskaper og erfaringer med bruk av kjent energiteknologi og en teknologioverføring av forskningsresultater til praktisk boligbygging. Samtidig må det igangsettes forskning og utvikling på flere områder der man i dag ikke har tilfredstillende løsninger.

Energieffektive tiltak behøver nødvendigvis ikke bety en dramatisk økning i byggekostnadene. Alternativ bruk av materialer og utvikling av mer rasjonelle, produksjonsevennlige metoder og byggetekniske løsninger, vil til en viss grad kunne kompensere for økte isolasjonskostnader. Samtidig vil et redusert energiforbruk bety lavere driftskostnader og dermed årskostnader. På grunn av dagens lave energipriser er dette imidlertid faktorer som er lite påaktet og dermed etterspurt i dagens boliger. Lav "inngangsbillett" vurderes som regel høyere enn løfte om besparelser over tid.

En stadig forbedring av boligen i mer energieffektiv retning er en dynamisk prosess som vil pågå i hele prosjektperioden og kreve at en også ser på tradisjonelle konstruksjons- og planløsningsprinsipper med nye øyne. Denne prosessen vil omfatte hele bygget der det i en lavenergisammenheng er viktig å se på samspillet mellom følgende elementer:

- Bebyggelsesplaner, boligutforming, planløsning og bruksegenskaper
- Byggetekniske løsninger
- Tekniske installasjoner
- Energi, inneklima og materialvalg
- Varmegjenvinning
- Produksjons- og driftskostnader
- Simulering, kontroll og etterprøving

Prosjektet som er planlagt avsluttet i 1996 er delt opp i fire hovedfaser som delvis overlapper hverandre:

1. Konseptutvikling av rimelige lavenergiboliger
2. Produktutvikling og utprøving av delkonstruksjoner og nye systemløsninger i laboratoriet og fullskala forsøksbygging
3. Prosjektering og bygging av lavenergiboliger
4. Analyse av kostnader, energiforbruk og brukeregenskaper

Denne prosjektrapporten omfatter vesentlig fase 1 konseptutvikling. Det er også startet opp noe arbeide i fase 2 som omfatter produktutvikling og orienterende laboratoriemålinger som underlag for utprøving av delløsninger i fullskala forsøksbygging. Siv. ark. Jon Christophersen Byggforsk har foretatt en analyse av hustype, romprogram og arealforbruk for en lavenergibolig i samarbeid med siv. ark. Terje Pedersen Block Watne A/S som har tegnet boligforslagene.

Prosjektet er et samarbeidsprosjekt primært mellom Block Watne A/S og Byggforsk. Deltagere er også Jackon A/S når det gjelder alternativ bruk av isolasjonsmaterialer og Isoterm A/S når det gjelder bygging av en prototypvarmeveksler for grått avløpsvann. Det er også innledet samarbeid med Prosjektas A/S om utprøving av nye fundamentløsninger.

Prosjektet er støttet av Norsk Forskningsråd avd. NTNF ved programmet "Produktutvikling og Forsøksbygging". Det er også mottatt støtte fra Husbanken og Norges Energiverksforbund.

Oslo, januar 1994

Per Gundersen

SAMMENDRAG

Som grunnlag for å utvikle et konsept for lavenergiboliger er det satt opp en rekke overordnede kriterier. Dette går bl.a. på energirammer, krav til inneklima, boligutforming, planløsning og kostnader. Da lavenergiboligene senere i prosjektet skal oppføres og omsettes på et åpent boligmarked, er det valgt en enkel attraktiv hustype som referansebolig. Referanseboligen er en frittstående enebolig i en og en halv etasje med livsløpsstandard som følger Husbankens regelverk. Dette forutsetter nødvendigvis at fleksible brukervennlige løsninger må ha en høy prioritet under konseptutviklingen. Man må derfor være villig til å inngå kompromisser for å få et best mulig sluttprodukt.

Disse forutsetningene vil lett kunne komme i konflikt med prosjektets målsetting bl.a. om lave kostnader, der man som et utgangspunkt for å lykkes bør ha relativt frie rammer. I rapporten er det presentert forslag til planløsninger med og uten livsløpsstandard. Som et utgangspunkt for energisimuleringer og parameterstudier for å fastlegge konstruktive rammebetingelser, er det valgt en kompromissløsning som tilfredstiller Husbankens krav til livsløpsstandard. Det er satt av plass og lagt opp til en samordning og forenkling av installasjoner både for vann-, avløp og ventilasjon. På dette området vil det alltid være rom for forbedringer. Utvikling av optimale tekniske, økonomiske og brukervennlige løsninger vil derfor bli videreført i prosjektets øvrige faser som bl.a. omfatter projektering og bygging av lavenergiboliger.

I rapporten fremgår det at flere systemløsninger og konstruktive detaljer må avklares for å kunne nå målsettingen. For å vinne tid og samtidig erfaring, kan det være hensiktsmessig i prosjektperioden å utprøve delløsninger i fullskala forsøksbygging etter hvert som disse er klare for utprøving. Det vil derfor tidlig i prosjektperioden bli bygd boliger med nye fundamentløsninger som er beskrevet i rapporten. Tilsvarende forhold vil gjelde for ventilasjonssystemet og andre konstruktive detaljer.

Følgende overordnede kriterier er lagt til grunn for boligutformingen og planløsningen:

Kvadratisk kompakt bygningskropp

Stue og kjøkken mot syd med store vinduer og soverom mot nord

Takutspring mot syd for å skjerme mot solinnstråling

Bod som klimaskjerm mot nord

Planløsning med sentralt beliggende installasjonskjerne for samordnet opplegg av tekniske installasjoner

Planløsning med mulighet for inndeling i temperatursoner

Bevisst bruk av materialer

Når det gjelder utførelsen av klimaskjermen for referanseboligen, er det relativt entydig hvilke krav som bør stilles til konstruksjonen for å oppnå målsettingen om energi- og kostnadseffektivitet. På bakgrunn av en parameterstudie har vi kommet frem til følgende rammebetingelser for klimaskjermen og de tekniske installasjonene, kort oppsummert:

Vinduer: *To-lags gassfylte vinduer med lavemisjonsbelegg. (U-verdi $\leq 1.6 \text{ W/m}^2\text{K}$, solfaktor ≥ 0.72)*

Vegger: *Bindingsverk av tre med kuldebrobrytere og 200 mm isolasjon (U-verdi = $0.18 \text{ W/m}^2\text{K}$)*

Tak: *Isolasjonstykkelse 250 mm, alt. 225 mm i skrå himling (U-verdi = $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$)*

Gulv på grunnen: *Spesialutførelse, lett gulvkonstruksjon med isolasjonstykkelse 200 mm (U-verdi = $0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$)*

Infiltrasjon: *Lekkasjetall ≤ 1.4 (Luftskifte ≤ 0.1 oms/time)*

Ventilasjon: *Behovstyrt, balansert ventilasjon med varmegjenvinning. Sentralt plassert sjakt for installasjoner og minimal bruk av kanaler evt. jordrør (temperaturvirkningsgrad $\geq 75\%$)*

VA- installasjoner: *Konsentrert vannskadesikkert opplegg med installasjonsvegg og sjakt for samlet ledningsføring mellom etasjene*

Elektriske installasjoner, varmeanlegget: *Elektriske termostatstyrte varmeovner, "åpent" elektrisk anlegg på yttervegger*

Varmt tappevann: *Varmegjenvinning fra gråvann for større husholdninger*

Rapporten inneholder konkrete forslag til konstruktive løsninger for å oppnå energi- og kostnadseffektivitet. Noen av disse tiltakene kan brukes direkte, mens andre vil kreve ytterligere utvikling og utprøving før de kan tas i bruk.

1 INNLEDNING

Redusert behov for kjøpt energi i boliger kan oppnås på tre prinsipielt forskjellige måter som alle inngår som nødvendige elementer i et lavenergikonsept.

1 Bruk av alternative fornybare energikilder

- *Sol, biobrensel, vind, varmeinnhold i jord- grunnvann- luft etc.*

2 Reduksjon av forbruk

- *Enkel bygningsgeometri*
- *Klimaskjerm med lite varmetap og muligheter for opptak av passiv solvarme*
- *Mulighet for temperatursoning*
- *Kontrollert lufttetthet*
- *Behovstyrt ventilasjon*
- *Vannbesparende varmtvannsutstyr*
- *Energieffektive husholdningsapparater og lysarmatur*
- *Energieffektive varmeanlegg som sikrer god temperaturkontroll*

3 Varmegjenvinning

- *Ventilasjonsluft*
- *Transmisjonsvarme (Dynamisk isolasjon)*
- *Avløpsvann*

Det vil være en kombinasjon av alle disse forhold som må legges til grunn for utviklingen av et lavenergi boligkonsept. Ikke alle energisparetiltak vil være like aktuelle i enhver sammenheng. Da det primært er forbruket av kjøpt energi som danner basis for et lavenergi boligkonsept, kan man også tenke seg å opprettholde et høyere energiforbruk hvis man har tilgang til rimelige alternative fornybare energikilder. Dette kan være solvarme, vind, biobrensel, varmeinnhold i jord, grunnvann, luft etc. Energi tilført fra aktiv og passiv solvarme og biobrensel kan utnyttes direkte i boligen, mens andre energiformer ofte må overføres til et høyere temperaturnivå f.eks. ved hjelp av varmpumper. Flere systemløsninger for å utnytte alternative energikilder krever betydelige investeringer, som igjen forutsetter et visst minste energibehov. Dette er løsninger som av økonomiske årsaker ofte er mindre egnet i mindre enkeltboliger på grunn av et lavt energibehov.

For totalt sett å kunne oppnå et lavt forbruk av kjøpt energi, kan man ta utgangspunkt i den enkelte boligen der denne får ekstern tilførsel av elektrisk energi, eller man kan se på en gruppe boliger med en felles energisentral, se fig. 1 a.

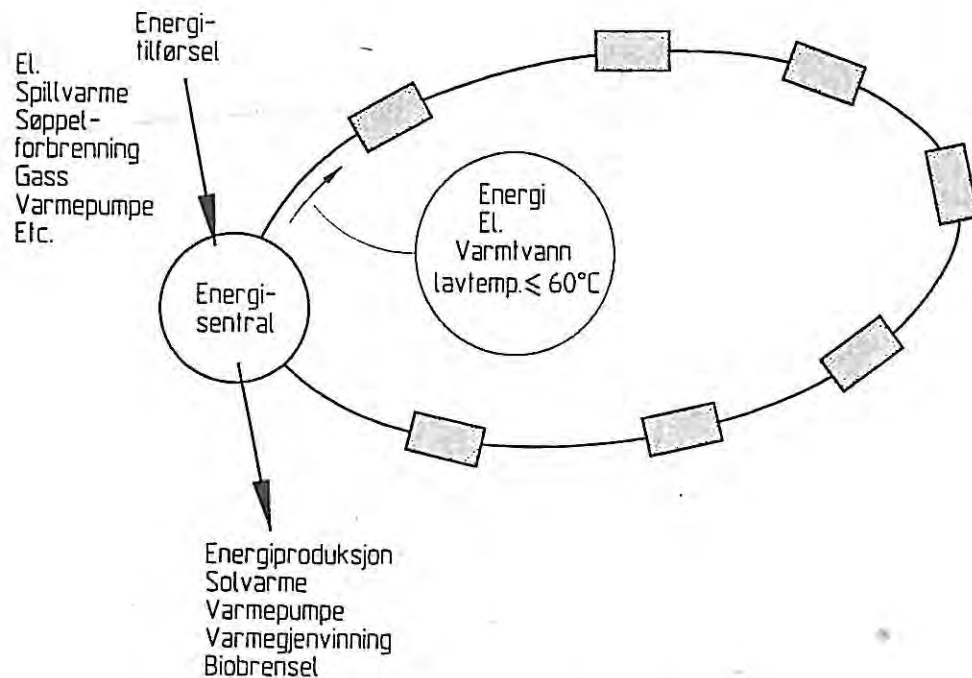


Fig. 1a. Lavt behov for kjøpt energi kan oppnås ved en kombinasjon av individuelle tiltak i den enkelte boligen og bruk av fellesløsninger der energien distribueres fra en lokal energisentral i form av elektrisitet og varmt vann

Ved å koble sammen flere boliger til en felles energisentral vil man kunne øke energibehovet og dermed utnyttelsesgraden for anleggene. Fellesløsninger med lokale energisentraler gir i prinsippet stor fleksibilitet når det gjelder muligheten for å utnytte forskjellige energikilder. Denne energien kan distribueres i området i form av en kombinasjon av varmt vann og elektrisitet. Dette krever at de enkelte boliger også har et system for å kunne nyttiggjøre seg lavtemperaturrenergi i form av varmt vann. Bruk av fellesløsninger forutsetter tilsyn og vedlikehold som ikke må undervurderes og som må ses opp mot energibesparelsene. Skal man totalt sett oppnå god energiøkonomi med bruk av fellesløsninger, krever dette systemer for individuell styring og energiregistrering som grunnlag for forbruk og avregning. Også dette krever betydelige tilleggskostnader som må tas med i regnskapet.

Når man som i dette prosjektet primært skal se på mindre boligtyper og samtidig skal bygge innenfor stramme økonomiske rammer, vil det være flere systemløsninger for energisparing som med dagens energipriser bare har marginal interesse. Det vil i de fleste tilfeller være bedre økonomi å satse på å forbedre boligens energiskjerm ved bruk av mer passive energisparetiltak. For å begrense prosjektet, vil vi her betrakte selve boligen isolert der denne får tilført energi i form av elektrisitet.

Figur 1 b viser fordeling av kjøpt energi i en bolig (100 m²) isolert etter byggeforskriftene (1987) og en tilsvarende lavenergibolig. Dette gir et bilde på det nivået man må ned på når det gjelder boligens varmetap for å oppnå det vi har valgt å definere som en lavenergibolig.

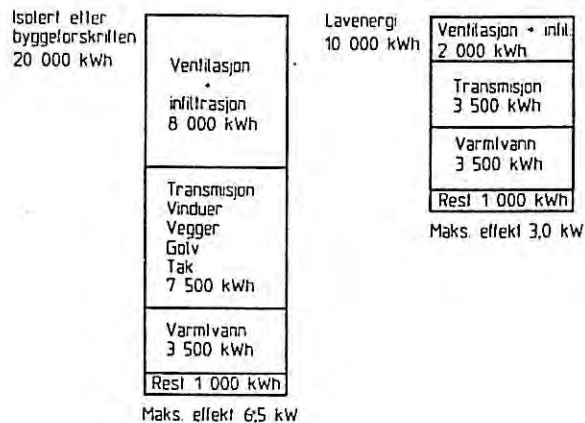


Fig. 1 b. Fordeling av kjøpt energi i en bolig (100 m²) isolert etter byggeforskriftene (1987) og en tilsvarende lavenergibolig

Når det angis en energiramme som et forbruk pr. kvadratmeter, som i dette tilfellet er satt til 100 kWh/m²/år, vil dette ikke gi et helt entydig bilde av det totale energinivået i boligen. Både boligstørrelse, boligtype, antall beboere og deres alderssammensetning, vil ha innvirkning på det totale energibehovet. Man bør derfor samtidig oppgi boligens totale energibehov, som i dette tilfellet med en bolig på 100 m² ligger på 10.000 kWh/år. Man vil alltid ha et visst basis energiforbruk som kan være betydelig, og som er mer eller mindre uavhengig av boligen. Det tenkes da særlig på varmtvannsforbruket og energi til husholdningsapparater etc. som kan variere sterkt fra bolig til bolig. Skal man derfor totalt sett oppnå lavenergi, forutsetter dette at man også til en viss grad har kontroll med dette energiforbruket. Det vil generelt være lettere å oppnå et tilsynelatende lavere energinivå for større boliger når dette oppgis pr. kvadratmeter boligflate. Boligstørrelsen vil også ha direkte innvirkning på prioritering av de energieffektive tiltak som skal settes i verk. For større boliger kan det f.eks. være lønnsomt å forbedre klimaskjermen når, det gjelder varmetap, utover det nivået som økonomisk kan forsvares for mindre boliger.

Vi har her valgt i utgangspunktet å utvikle et lavenergikonsept for små frittliggende eneboliger innenfor Husbankens regelverk og kostnadsrammer. Dette er relativt restriktive rammebetingelser som nødvendigvis vil legge visse begrensninger på boligutformingen og planløsningen. Vi må derfor i det videre arbeid med prosjektet også være åpne for å vurdere om disse rammebetingelsene er forenlige med målsettingen om kostnads- og

energieffektivitet og et godt inneklima. Små frittliggende eneboliger er tradisjonelt den mest vanlige boligtypen i Norge. Dette gir også den største utfordringen idet denne boligtypen har størst spesifikt energiforbruk. Ikke minst på kostnadssiden vil den valgte energirammen derfor representere en stor utfordring.

For at man totalt sett skal oppnå et kostnadseffektivt boligkonsept, må man finne den riktige balansen mellom energisparetiltakene. Grunnlaget rent konstruktivt for å oppnå dette, må derfor legges til rette allerede på tegnebrettet. Dette betyr at man kritisk må gå gjennom alle delløsninger separat og sett i sammenheng. Størrelsen på de energireduksjoner de enkelte delkonstruksjoner skal bidra med, vil være direkte relatert til kostnader. Erfaringer og målinger fra utførte lavenergiprosjekter viser at det er viktig å legge stor vekt på å utvikle kostnadseffektive passive energitiltak. Det tenkes da særlig på tiltak knyttet til bygningsmessige forhold som legger grunnlaget for å oppnå en god energiøkonomi mest mulig uavhengig av brukeren. Skal man derfor oppnå lavenergi kombinert med et godt inneklima og tilstrekkelig tilgang på varmt tappevann, er det også nødvendig å ta i bruk mer aktive tiltak. Varmegjenvinning vil her være et nøkkelord.

Målinger viser at opplysningskampanjer og liknende tiltak, som går ut på å endre folks forbruksvaner i mer energiøkonomisk retning, har på sikt en relativt begrenset innflytelse på energiforbruket. Dette må gjenspeile seg i boligkonseptet der det må legges vekt på å utvikle fleksible og til en viss grad selvregulerende løsninger som kan tilpasses varierende bruk av boligen. Boligkonseptet må være tilpasset brukerne og ikke omvendt.

2 VALG AV HUSTYPE, ROMPROGRAM OG PLANLØSNING

2.1 UTFORMING OG ORIENTERING

Nødvendige forutsetninger for å oppnå en rimelig brukervennlig lavenergibolig må legges inn i boligens utforming og planløsning. Også boligens orientering og plassering på tomte er viktige faktorer i denne sammenheng. Under utviklingsfasen av en lavenergibolig er det lagt vesentlig vekt på brukeregenskaper og design. Dette må nødvendigvis føre til kompromissløsninger når det gjelder planløsningen.

Som utgangspunkt for å utvikle en lavenergi referansebolig er det valgt en kompakt attraktiv hustype i en og en halv etasje med livsløp standard og som følger Husbankens regelverk. Det er valgt en relativt lukket planløsning som gir mulighet for en viss temperatursoning. Soverom er plassert mot nord og stue og kjøkken mot syd med stor vindusflate med mulighet for god utnyttelse av passiv solvarme. De prinsippene og løsningene som er valgt her kan imidlertid lett overføres på andre boligtyper.

Overordnede kriterier for boligutformingen og planløsningen

- *Enkel kompakt bygningskropp med nær kvadratisk form*
- *Takutspring mot syd for å skjerme for solinnstråling gjennom sydvinduer sommerstid*
- *Bod som klimaskjerm mot nord*
- *Stue og kjøkken mot syd med store vindusarealer og soverom mot nord*
- *Planløsning med sentralt beliggende installasjonskjerne for samordnet opplegg av tekniske installasjoner*
- *Planløsning med mulighet for inndeling i temperatursoner*
- *Bruk av materialer med lang levetid, mulighet for gjenbruk, forbrenning eller forurensningsfri deponering, ingen giftig avgassing etc. Samtidig må huset være lett å rengjøre og ha opplegg for vannskadesikre installasjoner.*

For å oppnå kostnadseffektivitet er det av avgjørende betydning at boligen er utstyrt med en installasjonskjerne, fig. 2.1 a, b og c. Dette er nødvendig for å få et konsentrert sentralisert opplegg for installasjoner som kan være noe mer omfattende i en lavenergibolig enn for en vanlig bolig. Samtidig er det viktig for å sikre et godt inneklima at man har en god luftfordeling i boligen. Dette oppnås ved at de forskjellige rom får rikelig tilførsel av friskluft helst uten bruk av kanaler. Det er også viktig å sette av plass til nødvendige installasjoner. Varmtvannsberederen bør ha en vesentlig bedre varmeisolasjon enn tilfellet er i dag, samtidig som denne bør plasseres i rom der man har et varmebehov også utover fyringsesongen. Det er også en fordel om varme rom, som f.eks. bad, har minst mulig overflate mot yttervegger.

Hvor langt det er mulig å få gjennomført disse tiltakene vil bl.a.være avhengig av boligstørrelsen. I de innledende faser i konseptutviklingen har brukervennlige løsninger hatt første prioritet fremfor rene effektivitetshensyn. Dette gjør også at vi må utvikle relativt fleksible løsninger med minst mulig bindinger. Dette er nødvendig sett ut fra markedsmessige forhold som må oppfylles for å tilfredstille beboernes ønsker og krav.

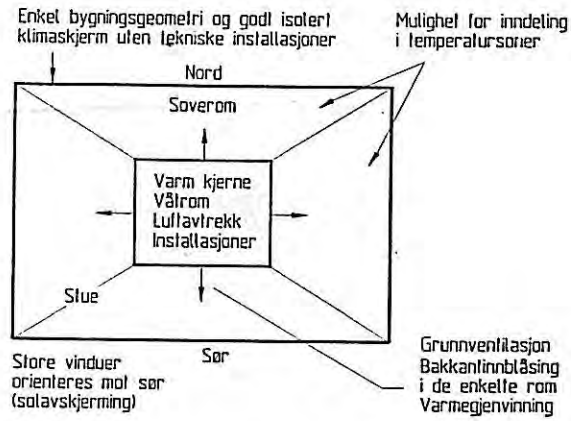


Fig. 2.1 a. Prinsippskisse. Planløsning med en sentral beliggende varm kjerne med plassering av installasjoner og våtrom gir en enkel og konsentrert kanal- og rørføring.

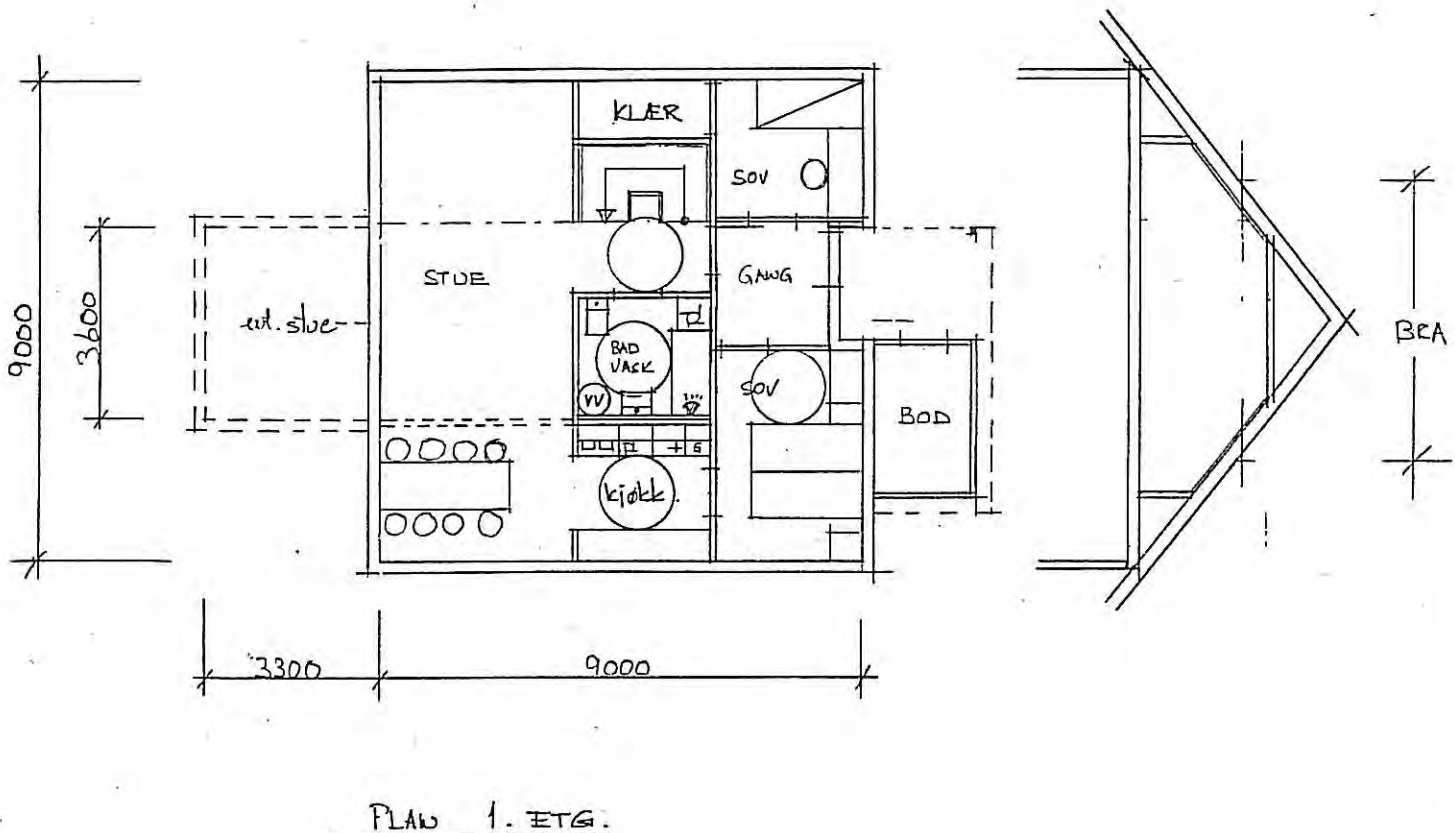
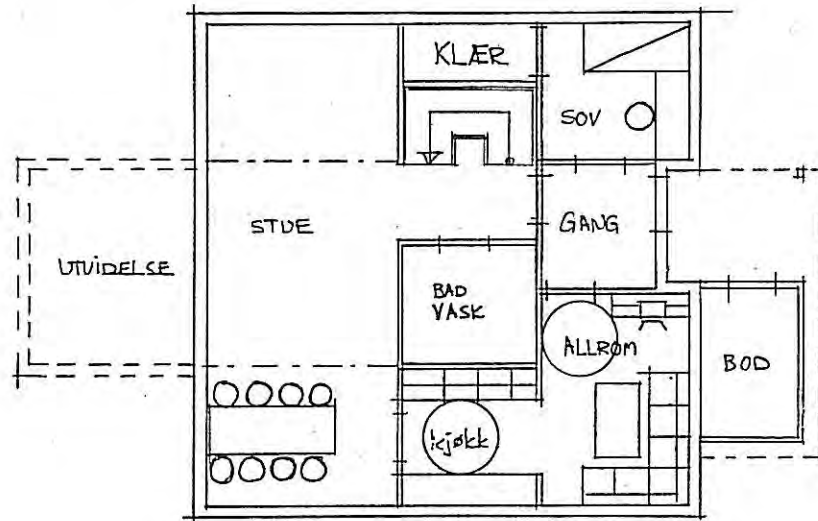
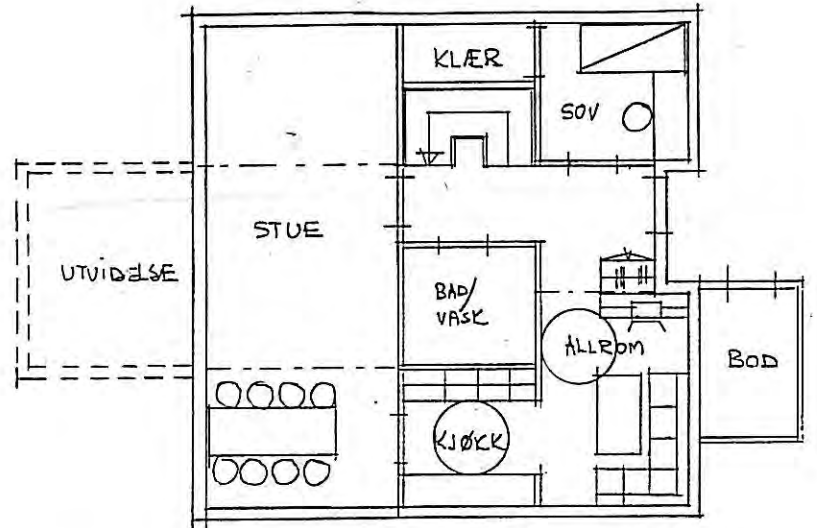
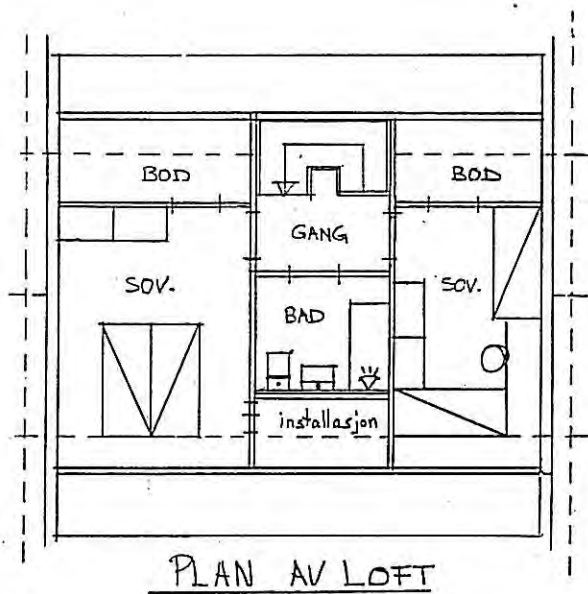


Fig. 2.1 b. Eksempel på en planløsning med livsløpsstandard med sentral varm installasjonskjerne. (Siv. ark. Terje Pedersen, Block Watne A/S)



ALTERNATIV PLAN 1. ETG.



PLAN AV LOFT

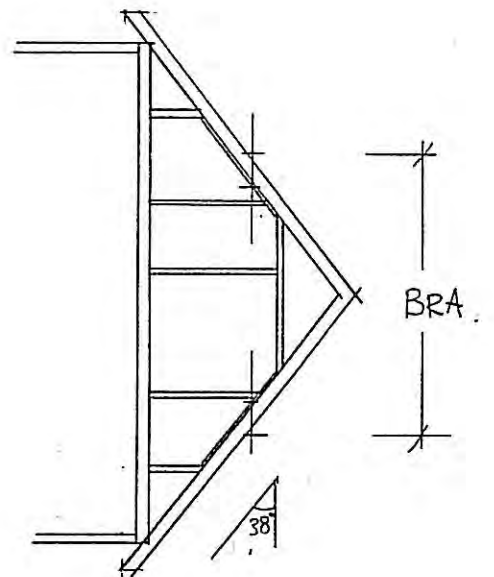


Fig. 2.1 d. Eksempler på planløsninger uten livsløpsstandard med sentral varm installasjonskjerne. (Siv. ark. Terje Pedersen, Block Watne A/S)

2.2 HUSBANKENS KRITERIER FOR BELÅNING

Idet vi har lagt Husbankens regelverk og kostnadsrammer som grunnlag for konseptutviklingen må vi kjenne reglene for lånetildeling. For å kunne dekke opp evt. tilleggskostnader tar vi sikte på å oppnå maksimal husbankbelåning. Husbanken stiller funksjonskrav til boligens minstestandard og gir tillegg i lånet for bestemte kvaliteter.

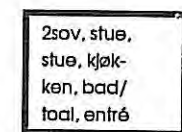
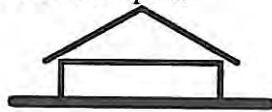
Basislån	Tilleggslån	Sum Husbanklån
<p>BASISLÅN</p> <p>gis til boliger med oppfylt minstestandard.</p> <p>Basislånet øker i fem trinn med antall rom og boligens størrelse. Ordinær øvre arealgrense er 120 m² BA. Kostnadene skal ligge innenfor godkjente rammer.</p>	<p>TILLEGGSLÅN</p> <p>gis til boliger med spesielle bolig- og miljøkvaliteter ut over minstestandarden. Det er seks muligheter for tilleggslån. Noen tillegg gjelder den enkelte bolig, andre gjelder hele bomiljøet.</p>	<p>SLIK BEREGNES LÅNET</p> <p>Prosjektets basislån og tilleggslån summeres. Dette gir samlet husbanklån før eventuelle andre tillegg.</p>

fra "Husbankens nye oppføringslån", HB-3034

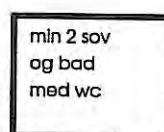
2.3 HUSTYPE, ROMPROGRAM OG AREALFORBRUK

Kravene i Husbankens minstestandard gjelder hovedsaklig planløsningen; når den tilfredsstillende minstestandarden, blir basislån gitt. For å oppnå tilleggslån gjennom kvaliteter i planløsningen, må boligen ha livsløp standard. Til minstestandarden som til livsløpsbolig-standard hører spesifikasjoner. De har konsekvenser for mål og dimensjoner på rommene i boligen og dermed også for boligarealet. Livsløp standard forutsetter bl a at stue, kjøkken, soverom (s.k. parsengsrom) og bad ligger på inngangsplanet.

Mest etterspurt:



Inngangsplan

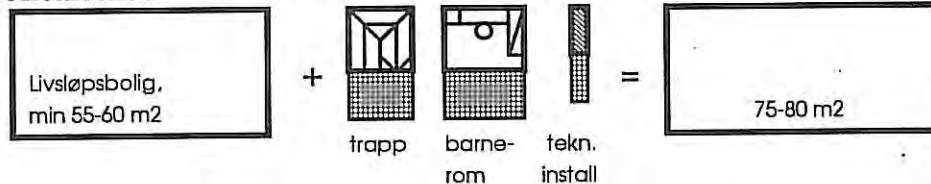


2. etasje

Hus i halvannen etasje, med to soverom, kjøkken og bad på inngangsplanet.

Hensyn til salgbarhet har også konsekvenser for valg av hustype, romprogram og planløsning. Undersøkelser NBI har gjort bekrefter opplysninger fra salgsapparatet hos Block Watne: Hus i en og en halv etasje, tre soverom og helst to soverom på inngangsplanet er mest populære. For maksimal husbankbelåning må arealet da være minst 95 m² BRA-K (kapasitetsgivende bruksareal), og hustypen må ha toalettrom i annen etasje.

Arealbehov:



Minstemål for livsløpsbolig (soverom, stue, kjøkken, bad og inngang), 55-60 m² pluss ca 20 m² til barnerom, trapp, teknisk rom, sirkulasjon og innvendige vegger gir et inngangsplan på 75-80 m².

En bolig med livsløp standard kan løses på 55-60 m², trapp (til 2. etg) ikke medregnet.

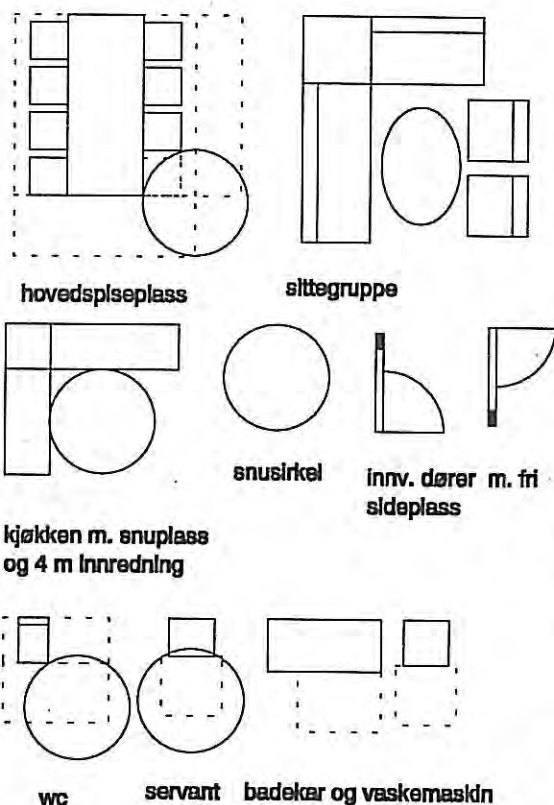
Trappa opptar 3,5-4 m². For at hustypen skal bli attraktiv, kommer dessuten et barnerom på inngangsplanet. Det bør være større enn byggeforskriftens minimum (ca 6,5 m²).

Videre trengs areal til tekniske installasjoner, sirkulasjonsareal til trapp og soverom, noe ekstra plass i gang/entré for å tilfredsstille behovene i en familiebolig og areal til innvendige vegger.

Til sammen kan inngangsplanet vanskelig løses på mindre enn ca 80 m². Krav og forutsetninger til inngangsplanet dimensjonerer annen etasje.

Konklusjon: En hustype i en og en halv etasje, med to soverom, kjøkken, stue og våtrom på inngangsplanet, planlagt i samsvar med forutsetningene for livsløp standard vil oppfylle målsettingene om et attraktivt og samtidig kompakt småhus som kan oppnå maksimalt husbanklån.

2.4 FUNKSJONSKRAV, AREALDISPONERING, PLASSERING OG FORDELING AV BOFUNKSJONENE

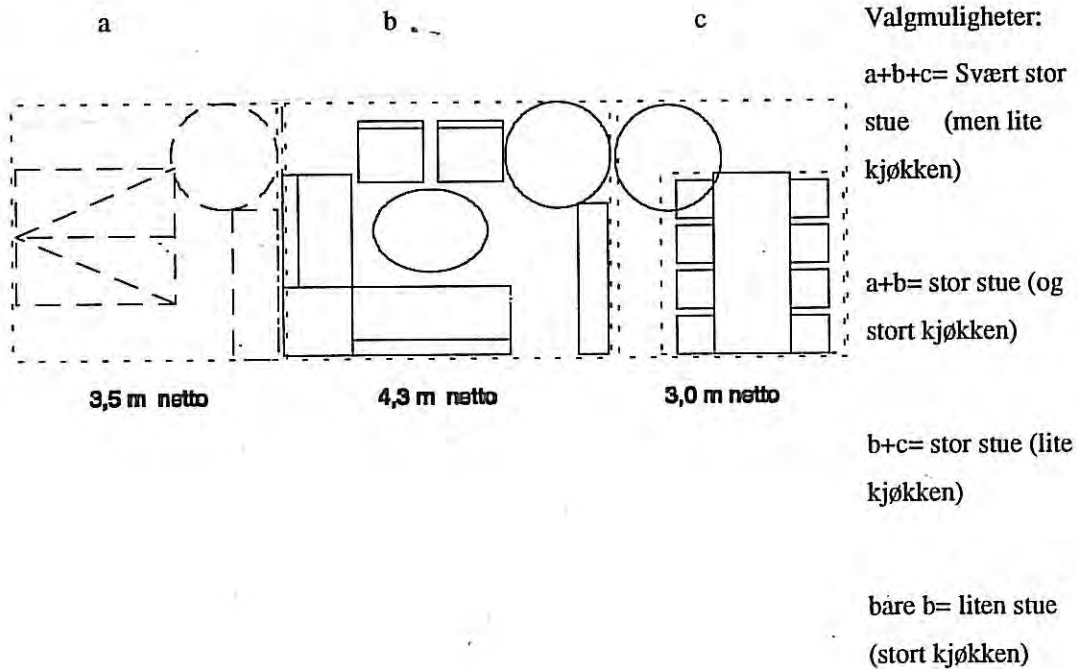


Hovedkrav til møblerings- og innredningsmuligheter

Husbankens minstestandard innebærer at stua skal kunne møbleres med sofagruppe, fortrinnsvis vinkelsofa og to stoler, at kjøkkenet har plass til 4 m fast innredning (målt langs forkant av innredningene) og at spiseplass for åtte personer kan rommes enten i stua eller på kjøkkenet. For livsløp standard må entré/vindfang, parsengsrom, bad, kjøkken og stue ha snuplass for rullestol. Badet skal ha plass til servant, klosettskål, badekar og vaskemaskin, og det skal være fri sideplass ved klosettskålen. Ved hovedinngangsdøra og ved dørene til rommene som omfattes av kravene til livsløp standard må det også være fri sideplass.

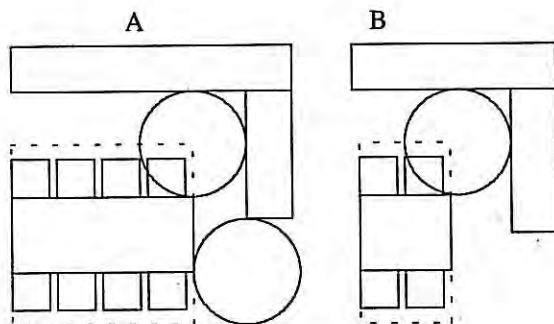
Parsengsrommet behøver ikke være delt av som eget rom, men innredning av et fullverdig rom skal være mulig uten å belaste andre rom. Husbanken forutsetter at romskille blir vist med stipet strek på plantegningen.

Parsengsrommet i en livsløpsbolig opptar omtrent 12 m². Mest aktuelt, av arealøkonomiske hensyn, er å legge det inn som et såkalt "stiplet" rom. Det vil si som en del av stua. Da kan rommet innredes når det er behov for det - men med noe tap av areal i stua. "Stiplet" soverom gir altså huskjøperen mulighet for å velge mellom en bolig med to soverom i første etasje og forholdsvis liten stue (b på figuren), eller en bolig med ett barnesoverom nede og forholdsvis stor stue (a+b på figuren).



Plasseringen av hovedspiseplassen - i stua eller på kjøkkenet - har betydning for arealdisposisjonen. Det samme gjelder valg av soveromsløsning:

Hva så med spiseplassen? Folk vil ha mulighet for å spise på kjøkkenet. Derfor må kjøkkenet ha en liten spiseplass, selv om hovedspiseplassen ligger i stua. Og om hovedspiseplassen er i stua, kan den ikke overlape med det arealet som skal settes av til parsensrommet (Husbandens krav). Som arealdisposisjon gir dette en *stor* (a+b+c på figuren ovenfor) stue og et forholdsvis lite kjøkken (B på figuren under), eller, dersom parsensrommet deles av, en middels stor stue (b+c) og et lite kjøkken.



Valgmuligheter:

A) Stort kjøkken, med hovedspiseplass (passer med a+b og b alene, ovenfor)

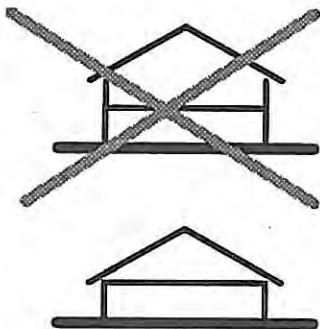
B) Lite kjøkken, med liten spiseplass (passer med a+b+c og b+c ovenfor)

Romslig kjøkken er et godt salgsargument. (De store stueene som var vanlige på seksti- og sytti-tallet er ikke like populære som før.) Legges hovedspiseplassen i kjøkkenet, sikres et godt rom - uansett øvrig innredning av første etasje - og en viss frihet i planleggingen av stuearealet. Når hovedspiseplassen holdes utenfor, er kravet bare at stua skal kunne møbleres med sittegruppe. Likevel bør stua bli så stor som mulig, også når parsengsrommet er delt av som eget rom. I praksis kan stua bli på 35-40 m². Av dette går ca en tredel med til parsengsrom.

Konklusjon: Ut fra salgsargumentet om stort kjøkken legges hovedspiseplassen til kjøkkenet. Stua planlegges forholdsvis liten, men slik at livsløp-soverommet kan innlemmes i stua. Når parsengsrommet ikke innredes som eget rom, oppnås da en romslig stue.

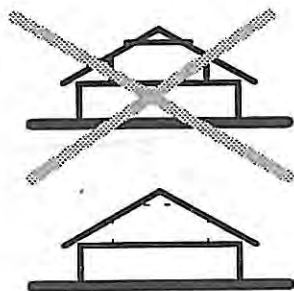
2.5 KONSTRUKTIVE HENSYN

Hensyn til salgbarhet og kompakt, energriktig og økonomisk bygging tilsier en hustype i en og en halv etasje.



Knevegger medfører ekstra kostnader og er neppe nødvendig, siden huset vil få forholdsvis stor grunnflate.

Ytterveggene kan føres opp over etasjeskillet, som knevegger, eller stoppe ved etasjeskillet. Valg mellom knevegg eller ikke avhenger av økonomiske - dvs produksjonstekniske spørsmål - og av muligheter for takhøyde i oppholdsrommene - dvs forholdet mellom husbredde, takvinkel og eventuell knevegg. Siden beslutningene som er tatt om antall rom i første etasje gir forholdsvis stor grunnflate, bør det være mulig å få en brukbar planløsning innenfor normale takhøyder i annen etasje, selv uten knevegg. Knevegger vil dessuten medføre ekstra kostnader.



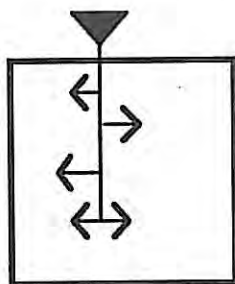
Sperretak, bygd på stedet ansees som en mer økonomisk løsning enn (prefabrikerte takstoler.

Taket kan utføres enten med takstoler eller som sperretak. Takstolkonstruksjon ansees mest hensiktsmessig ved prefabrikasjon. Prefabrikasjon medfører transportkostnader. Ved plassbygging - dvs sperretak - kan transportkostnadene reduseres; plassbygging må derfor ansees som mest økonomisk her. Det produksjonssystemet Block Watne bruker nå legger dessuten opp til høy grad av plassbygging, men om nødvendig kan konstruksjonen stives av med knestokker og hanebjelker. (Eventuelt kan plassbygde takstoler være aktuelt dersom hustypen blir brukt ved feltutbygginger i store serier.)

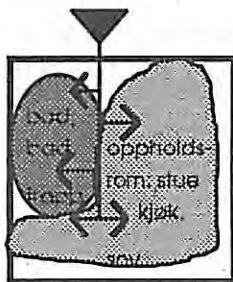
2.6 UTVIKLING AV ET PLANPRINSIPP MED EN SENTRALT PLASSERT KJERNE

Konseptets grunntanke er en sentralt plassert kjerne. Kjernen kan bestå av en vertikal sjakt med alle tekniske installasjoner. Bad/våtrom kan også inngå som en del av den tekniske kjernen. Konseptet innebærer betydelige bindinger for boligplanen, nesten uansett husets/løsningens mål og dimensjoner, såvel i plan som i snitt. Bindingene gjør det vanskelig å få til en tilfredsstillende planløsning. Noen av valgene m h t takvinkel/knevegg og krav til kvaliteter i planløsningen øker problemene. Det samme gjør de grunnleggende kravene om nøkternt arealforbruk, kompakt husform og økonomisk utforming.

I planer som skal løses med nøkternt arealforbruk, søker man normalt å redusere sirkulasjonsarealet. Dette gjelder særlig i livsløpsboliger, hvor krav til fri gulvplass som snusirkler og fri plass ved dører, forutsetter nitid arbeid for å holde plass til sirkulasjon innefor akseptable rammer.



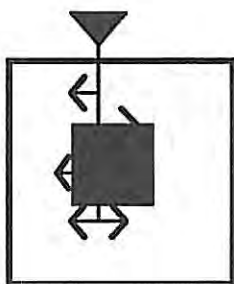
For at minst mulig plass skal gå med til sirkulasjon, tilstreber man rette, korte forbindelser mellom rommene. Det oppnås lettest når gangarealet ligger sentralt i planen, i forlengelsen av hovedinngangsdør/vindfang på midten av inngangsfasaden.



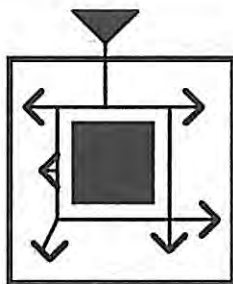
Romsonene med de ulike rom og funksjoner distribueres rundt det sentrale sirkulasjonsarealet. Oftest kommer da oppholdsrommene på den ene siden og trapp, bad bod o.l. på den andre.

Spesielt om planer med sentralt plassert teknisk kjerne:

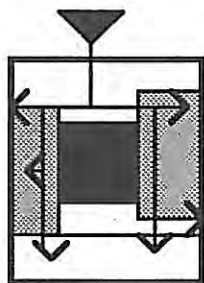
2.7 BAD I KJERNEN



En våtromskjerne midt i planen lar seg ikke forene med det ordinære planprinsippet hvor sirkulasjonsarealet løper som en ryggrad gjennom boligen. Kravene til livsløp standard, forutsetter særlig oppmerksomhet på økonomisk planlegging av sirkulasjonsarealet og at kjernen i første etasje - inngangsplanet - skal romme et bad med livsløp standard. Det kommer sjelden under $5,5 \text{ m}^2$, i praksis ofte over 6 m^2 (nettoareal). Kjernen vil derfor oppta mer enn 10% av bruksarealet i første etasje.



Kjernen medfører et mer arealkrevende sirkulasjonsmønster. Vi får en "rundkjøring" rundt kjernen. Bofunksjonene må knyttes til rundkjøringen, ikke som i "vanlige" planer til en stamme (ryggrad). Og vanskelighetene stopper ikke her:

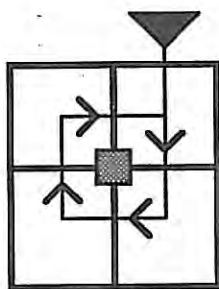


Som nevnt stiller livsløp standarden arealkrav til kjernen. Nøkternt arealforbruk gjør det ønskelig at husets grunnflate er liten. Dermed oppstår nok en konflikt. Restarealene mellom kjernen og ytterveggene blir smale og vanskelige å bruke til normale, gode rom. Dette kan løses ved å øke boligens grunnflate.

2.8 INSTALLASJONER I KJERNEN

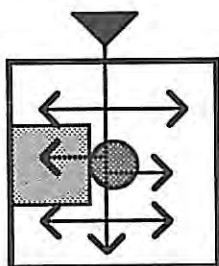
Hvis badet løsriveres fra kjernen, blir friheten i planleggingen større. Dette er særlig velkomment her, hvor mange andre krav og forutsetninger setter grenser og legger føringer på løsningen. I tillegg kan en ekstra boligkvalitet bli oppnådd: dagslys på badet gjennom et vindu i en yttervegg.

Likevel er det en forutsetning at de tekniske installasjonene kan plasseres i en vertikal kanal ev. sjakt, midt i huset, og denne søylen bør ligge inntil badet og kjøkkenet; korte kanal- og rørføringer er essensielt for kostnadseffektivitet.

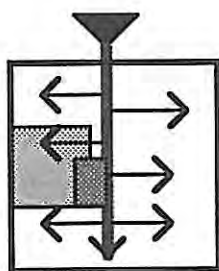


Den tradisjonelle korsplanen oppfyller kravet til sentral kjerne på en perfekt måte; den ble utviklet nettopp for å betjene alle rom med én "søyle" - pipa. Men korsplanen gir ikke god nok løsning på problemene med sirkulasjon og boligfunksjoner:

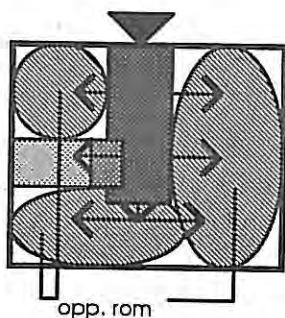
Bad, inngang og trapp må ligge i én av planens fire romsoner. Med de kravene vi har til bad og inngang er det problematisk innenfor normale spennvidder. Korsplanen forutsetter også at minst ett rom bare nås gjennom et annet rom. Det er ønskelig at alle rommene kan nås fra "nøytralt" område.



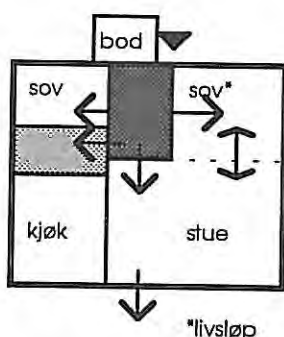
Vi trenger et planprinsipp med færre bindinger m h t romsoner og et mer lineært trafikksystem. Med badet (markert med lys skravur) mot en yttervegg kan sirkulasjonen følge en akse midt i planen. Aksen får det ene endepunktet i et vindfang - omtrent midt på inngangsfasaden - løper tvers gjennom planen og gi atkomst til rom på begge sider, lik et tosidig korridorsystem i en større bygning. Bare ett problem gjenstår: Sirkulasjonsaksen "butter" i installasjonskjernen (merket ●).



Problemet nødvendiggjør et kompromiss. Installasjonskjernen kan ikke ligge nøyaktig midt i planen, men må flyttes litt over mot den ene siden. Når man har forlatt prinsippet om en større sentral varm kjerne, medfører dette kompromisset ingen tap av betydning når det gjelder energiøkonomien eller kanaler og rørføringer.

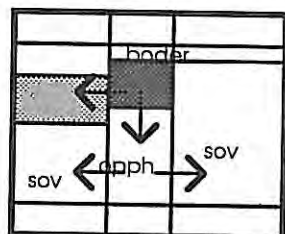


Den videre utviklingen av planen er nå forholdsvis enkel: Vi har et effektivt sirkulasjonssystem som stemmer overens med målene for de tekniske installasjonene, nøytral atkomst til rommene både i første og annen etasje, og mulighet for noenlunde fleksibel utnyttelse av planen.



Det som nå gjenstår er å få hensiktsmessige rom som oppfyller forutsetningene i minstestandarden innenfor nøkterne dimensjoner: en rektangulær huskropp med areal som fastlagt tidligere. Naturlige utgangspunkter er:

- barnesoverommet kommer i den minste romsonen
- stue og (livsløp)soverom opptar den største romsonen
- kjøkken legges til romsonen nærmest bad og stue



Sonen mellom kjøkken og stue i forlengelsen av hallen er den mest naturlige forbindelsen til terrasse/privat uteplass. Tilsvarende får vi på motsatt side av huset et naturlig sted for plassering av et bodtilbygg som samtidig skjermer inngangsdøra.

Annen etasje kan med få problemer følge samme struktur som hovedetasjen, men på grunn av lav høyde kan deler av arealet ikke utnyttes til annet enn kott og boder.

2.9 UTFORMING OG PLANLØSNING AV EN RIMELIG LAVENERGIBOLIG

Figur 2.9 viser planløsning og fasader av referanseboligen som er brukt som grunnlag for parameterstudier for en lavenergibolig.

Veien fra ideskissen over til den ferdige løsningen nedenfor er i prinsippet enkel, men krever i praksis en rekke justeringer for at alle detaljer med mål og dimensjoner på innredninger og møbler, dører, trapp og takvinkel skulle "gå opp". Av betydning for fasadeutformingen (og for en god terrasse) var beslutningen om et inntrekk mellom kjøkkenet og stua. Det gir et overdekket og skjermet parti på terrassen og en enkel ide for fasaden. Den får tre felt - og huset kan leses som tre volumer som er ekkoer av de tre hovedsonene i planløsningen: På sørsiden står et stort glassfelt mellom to "tettere" sidefelt, og på nordsiden deles huset av bodtilbygget med overdekningen over inngangen.

Konklusjon: For å oppnå en mest mulig kompakt løsning, er referanseboligen planlagt med en teknisk installasjonskjerne der baderommet i første etasje plasseres mellom kjøkkenet og soverom, med felles installasjonsvegg med kjøkkenet. Nærmere analyse av plan og utforming i tilknytning til detaljprosjektering av de tekniske installasjonene og valg av byggetekniske løsninger, vil kunne kreve visse justeringer.

Skal man oppnå energi- og kostnadseffektive løsninger koblet sammen med kravet om et godt inneklima viser analysen at det er nødvendig å starte på et relativt fritt grunnlag. Når man skal utvikle og bygge fremtidens lavenergiboliger, er det ikke uten videre gitt at disse kan tilpasses Husbankens regelverk og rammebetingelser.

Moderne tette bygningskonstruksjoner krever en energieffektiv ventilasjon for å sikre et godt inneklima og lavt energibehov. For å oppnå dette innen akseptable kostnadsrammer, må bygningstekniske og planmessige forhold legges til rette. Det må bl.a. avsettes plass til nødvendig installasjoner. Disse bør ha en sentral beliggenhet for å unngå lange rørstrekk og kanaler, og samtidig være lett tilgjengelige for inspeksjon og vedlikehold. Innføring av en rekke nye tekniske hjelpemidler som datautstyr etc. som også krever plass, gjøre det nødvendig å se på planløsning og romstørrelser med nye øyne. Arbeidet med å komme frem til best mulig løsninger vil være en kontinuerlig prosess som vil bli videreført i prosjektets fase 2 og 3 som bl.a. omfatter prosjektering av lavenergiboliger.

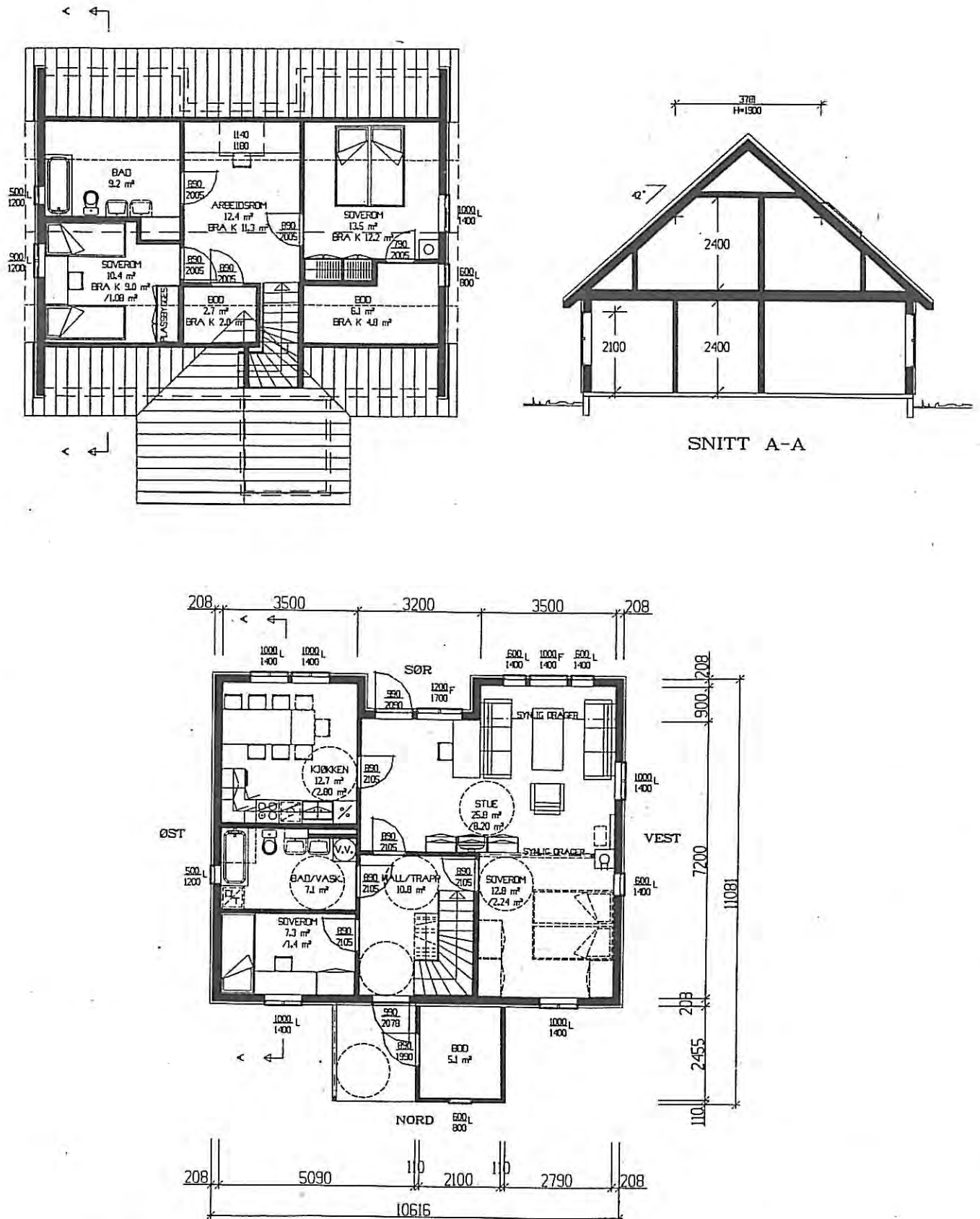
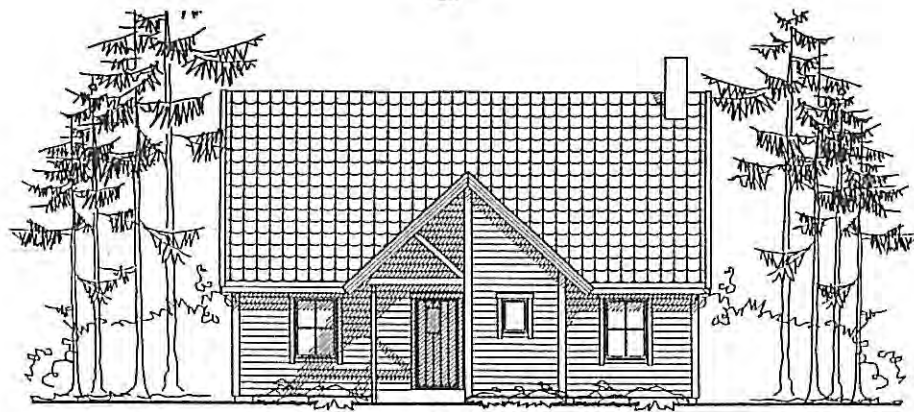
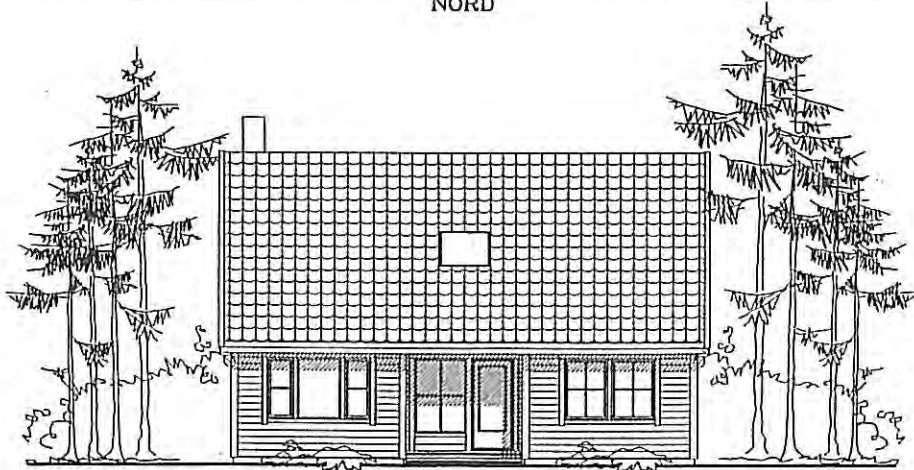


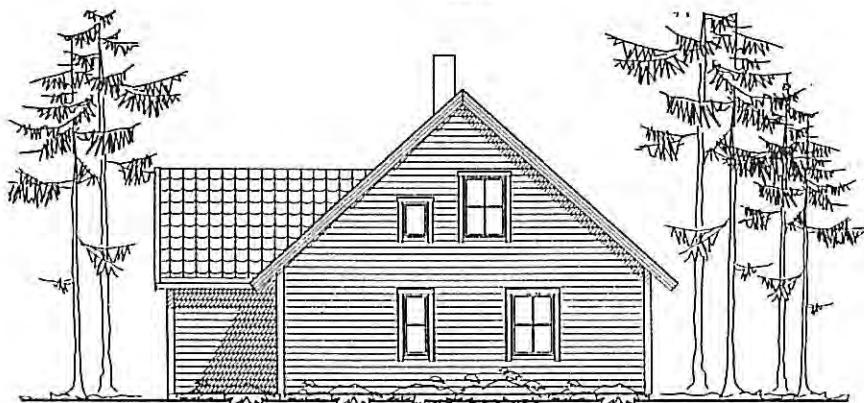
Fig. 2.9 a. Planløsning for referanseboligen som er brukt som grunnlag for parameterstudier for en lavenergi bolig. (Siv. ark. Terje Pedersen Block Watne A/S)



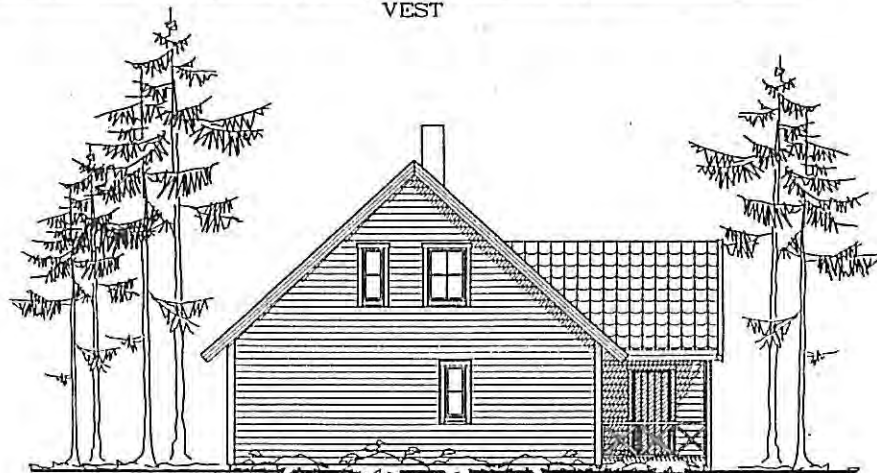
NORD



SØR



VEST



ØST

Fig. 2.9 b. Fasader og snitt av referanseboligen. (Siv. ark. Terje Pedersen, Block Watne A/S)

3 TEKNISKE INSTALLASJONER

Tekniske installasjoner i en bolig består av ventilasjonsanlegget, vann- og avløpsanlegg og elektrisk anlegg inkl. varmeanlegget og signalkabler. En del av disse installasjonene er relativt arealkrevende og krever derfor en spesiell tilpassing i boligen. En vesentlig forutsetning for å oppnå et kostnadseffektivt lavenergikonsept, er derfor å få et rasjonelt samordnet opplegg for alle tekniske installasjoner. Da de forskjellige tekniske installasjonene tildels er innbyrdes avhengige, må disse anleggene planlegges som en enhet. Dette går både på fysisk plassering i boligen og på produksjons- og drifttekniske forhold. Indirekte vil utførelsen også kunne ha innflydelse på inneklime. For eksempel vil et veggmontert utstyr kunne forenkle renholdet som er en nødvendig forutsetning for å oppnå et godt inneklime.

3.1 VENTILASJONSANLEGGET

Skal man opprettholde en tilfredstillende luftkvalitet i moderne tette og godt isolerte boliger, kreves en god tilgang på friskluft. Nødvendig ventilasjonsluftmengde vil være bestemt av materialvalg, renhold og aktiviteter i boligen. I forbindelse med energisimuleringer er det valgt en gjennomsnittlig grunnventilasjon på 0.7 luftvekslinger i timen. Det legges vekt på å oppnå en god kontroll med evt. forurensingskilder ved et bevisst materialvalg, samtidig som det skal brukes installasjoner som letter renholdet.

Komfyren er utstyrt med avtrekkshette med egen vifte for en forsert ventilasjon. Utendørs forurensinger forutsettes fjernet ved en effektiv filtrering. I områder med radon eller metangass fra grunnen forsegles gulvkonstruksjonen.

God energieffektivitet forutsetter en behovstyrt ventilasjon kombinert med balansert ventilasjon med varmegjenvinning. Den enkleste og rimligste måten å imøtekomme ønsket om behovstyrt ventilasjon på, er i tillegg til en effektiv utluftning ved å åpne vinduer, å bruke turtallstyring av vifter og ventiler med enkle reguleringsmuligheter.

Det er tre primære mål man ønsker å oppnå med ventilasjonsanlegget:

1. *Godt inneklime med god luftkvalitet*
2. *Minst mulig risiko for byggskader*
3. *God totaløkonomi*

I det valgte lavenergikonseptet er det lagt til grunn en form for balansert mekanisk ventilasjon med varmegjenvinning, se fig. 3.1 a.

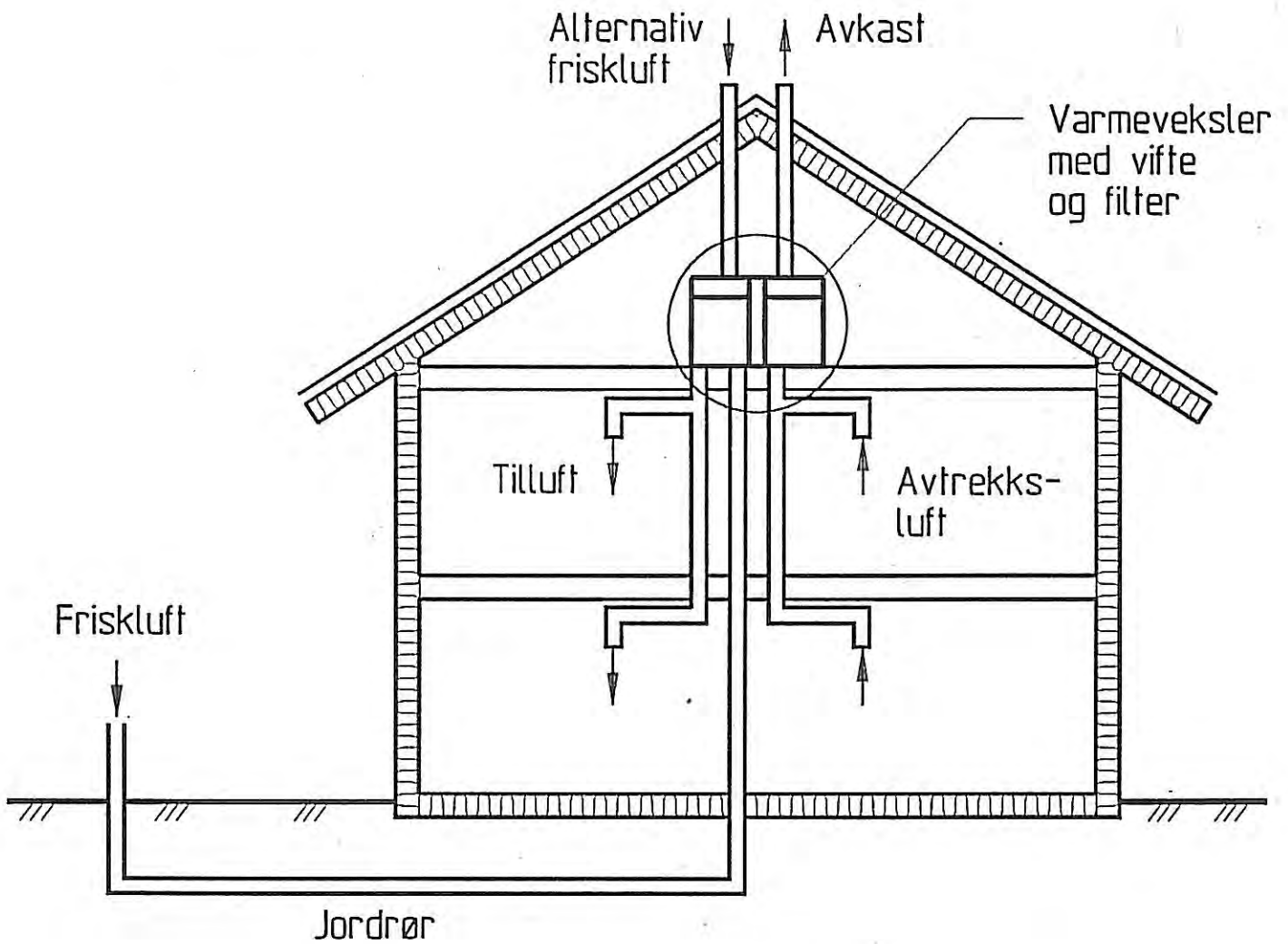


Fig. 3.1 a. Balansert mekanisk ventilasjon med varmegjenvinning. Jordrør for evt. forvarming/avkjøling av ventilasjonsluften.

3.1.1 Overordnede kriterier for utforming av ventilasjonsanlegget

- *Lave lufthastigheter som gir lite støy fra vifter, kanaler og ventiler der man unngår bruk av kostbare og arealkrevende lydfeller og redusere vifteenergien til et minimum.*
- *Energieffektiv og driftsikker ventilasjon*
Legge forholdene til rette for utnyttelse av naturlige drivkrefter (vind og oppdrift). Vurdere mulighetene for å forvarme tilluften ved bruk av jordrør for å kunne sløyfe forvarmebatteri og redusere varmevekslernes heteflate. Det er samtidig viktig å bruke energieffektive viftemotorer med turtallstyring og høy virkningsgrad.
- *God filtrering av tilluften*
Ta i bruk ny type elektrostatfiltre med lav trykkfall, høy utskillingsgrad for alle partikkelstørrelser og et enkelt rimelig vedlikehold (utskiftsbare filterelementer av papp)
- *Trekkfri tilførsel av friskluft*
Friskluftventiler basert på diffus tilførsel av friskluft i golvplan (fortrengningsventilasjon) med høy ventilasjonseffektivitet. Alle større soverom har egen friskluftstilførsel.
- *Kostnadseffektivt ventilasjonsanlegg*
Økonomisk integrering av anlegget i boligen ved å bruke en fellessjakt for alle installasjoner med god tilgjengelighet og minst mulig bruk av kanaler. Enkle og rimlige komponenter og enkelt vedlikehold og renhold.

Dette er relativt ideelle kriterier for oppbygging av et ventilasjonsanlegg. Årsakene til de tildels dårlige erfaringene man ofte har med dagens mekaniske ventilasjonsanlegg både når det gjelder anleggskostnader, støy, luftfordeling og energigevinster, kan som regel tilbakeføres til svikt i en eller flere av disse forutsetningene.

Da dagens ventilasjonsanlegg ikke uten videre oppfyller disse kriteriene, vil vi i prosjektet utnytte resultater fra NTN-projektet BA 30540 "Energieffektive ventilasjonsanlegg" i den grad disse er kommersielt tilgjengelige. Figur 3.1.1 viser en prinsippskisse av et energieffektivt ventilasjonsaggregat (BA 30540).

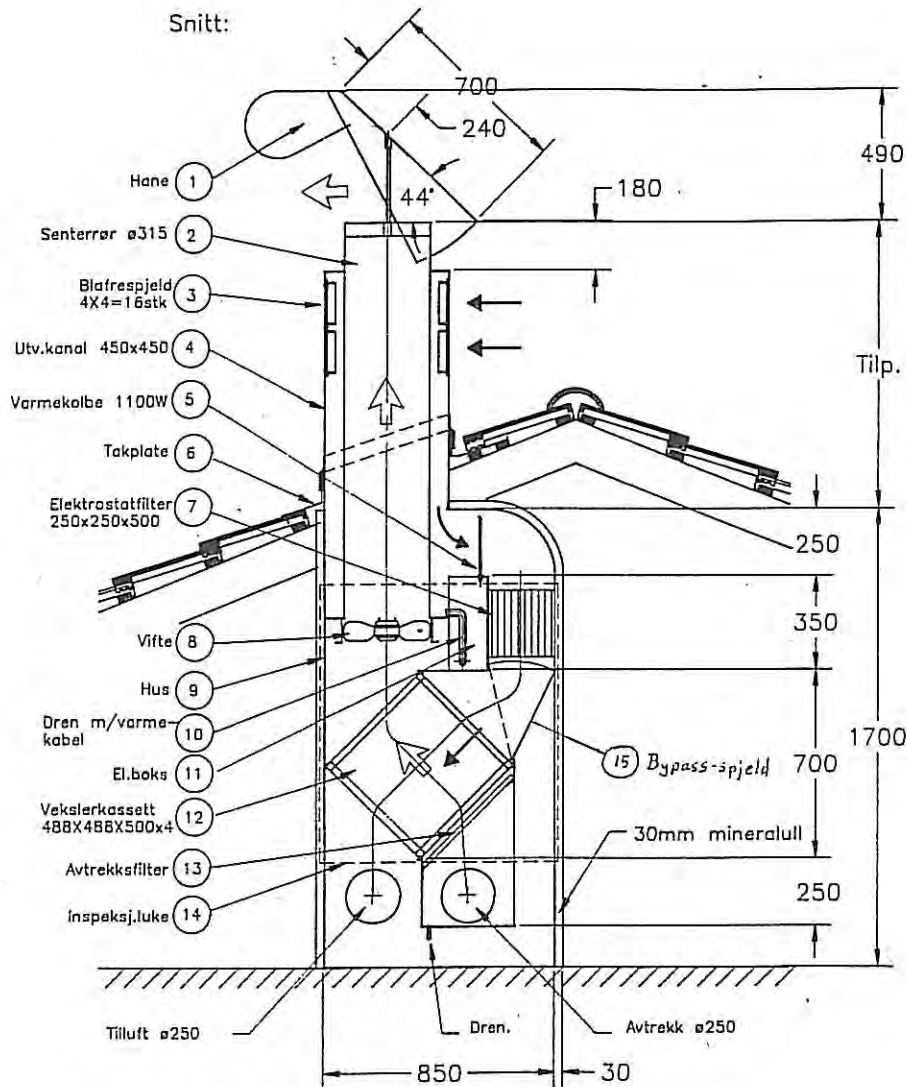


Fig. 3.1.1. Prinsippskisse av et energieffektivt ventilasjonsaggregat (lave trykktap). Se NTNF-prosjektet BA 30540.

3.1.2 Integrering av ventilasjonanlegget i boligen.

Det vil være ventilasjonsanlegget, med mulighet for varmegjenvinning, som samlet vil representere den største enkeltinvesteringen i et lavenergi boligkonsept. Riktig utført vil dette anlegget samtidig, som separat energisparetiltak, kunne gi den største potensielle energigevinsten. Hvis man legger et femårs perspektiv til grunn når det gjelder å få igjen investeringene, vil man kunne tåle tilleggskostnader i størrelsesorden kr 15.000,-, se avsnitt 6. Nå vil det imidlertid ikke være riktig ensidig å fokusere oppmerksomheten på energibesparelsen. Hvis man lykkes i å oppfylle de kriteriene som er lagt til grunn for ventilasjonsanlegget i referanseboligen, vil man totalt sett få et meget godt innneklima og dermed gi boligen en betydelig standardheving. En betydelig del av kostnadene og ventilasjonsanleggets funksjonelle egenskaper er knyttet til kanaler og bygningsmessige forhold. Dette er derfor forhold som har hatt høy prioritet når det gjelder å utvikle

referanseboligens planløsning, men som det samtidig er vanskelig å oppfylle tilfredstillende innenfor meget stramme rammebetingelser og relativt knappe arealgrenser.

Ventilasjonsanlegget må betegnes som et aktivt mekanisk system som nødvendigvis vil måtte kreve noe tilsyn f.eks. på linje med et frysenskap som bør avises et par ganger i året. Det er derfor viktig at både installasjons- og bygningstekniske forhold legges til rette slik at dette vedlikeholdet er enkelt å utføre. Dette er en absolutt forutsetning for at anlegget på sikt skal virke etter forutsetningene.

Hovedvekten er her lagt på å oppnå et godt innemiljø og kostnadseffektivitet både når det gjelder anlegg og drift. En forutsetning for å få et kostnadseffektivt anlegg med høy virkningsgrad, er at man i størst mulig grad kan unngå lange kanalføringer. Samtidig som fordelingskanaler og aggregater plasseres innfor klimaskjermen. I planløsningen er det lagt stor vekt på å oppfylle disse vilkårene ved å bruke en installasjonskjerne.

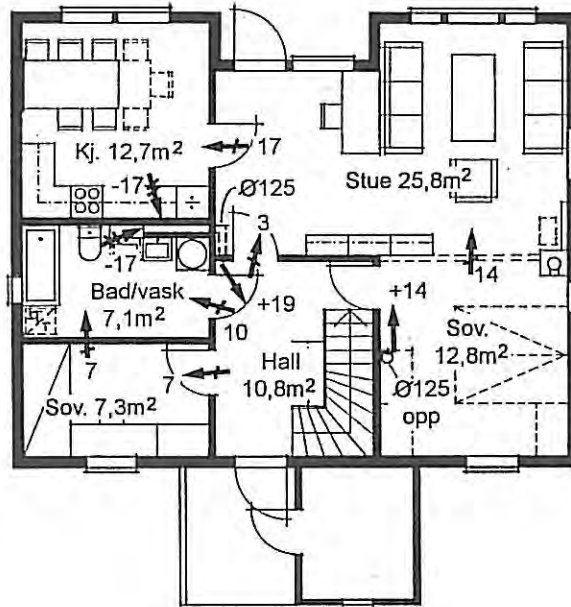
3.1.3 Luftfordeling i referanseboligen

I fig. 3.1.3 er ventilasjonsanlegget inntegnet med angivelse av interne luftveier i boligen, dimensjonerende luftmengder og kanal- og ventildimensjoner.

Det er forutsatt brukt en type fortrenningsventilasjon med direkte frisklufttilførsel til hall i første og annen etasje og til alle store soverom. En felles tilførselskanal fører friskluft til soverom i vest i begge etasjer. Denne har dimensjonen 160 mmØ, og er den eneste kanalen i luftfordelingssystemet, idet den øvrige luftfordelingen foregår ved spalt under eller over dører eller ved overluftsventiler i lettvegger. Varmeveksler og filterenhet er plassert lett tilgjengelig i eget installasjonsrom/skap i 2. etasje. Dette skapet utgjør endel av installasjonsjakten. Nødvendig tilsyn og filterskifte foretas fra baderommet der evt. kondens fra varmeveksleren direkte kan tilføres avløpsnett.

Kjøkkenheten er utført med egen vifte for forsert avtrekk til yttervegg uavhengig av det øvrige systemet.

Hvis det skal anlegges et jordrør for forvarming av inntaksluft, må dette ha en dimensjon på 200 mmØ for å holde lufthastigheten under 2.0 m/s og dermed oppnå et lavt trykkfall. Jordrøret isoleres under boligen hvis massene i grunnen er telefarlige. Jordrøret forlenges opp i sjakten der det isoleres. Når det foreligger reelle kostnadstall for varmevekslere med høye virkningsgrader og lave trykktap, vil disse bli vurdert opp mot bruk av jordrør til forvarming av ventilasjonsluften. Ved bruk av jordrør vil man ha en enkel manuell omkobling mellom sommer og vinterforhold. Man har da også mulighet for kjøling på varme sommerdager.

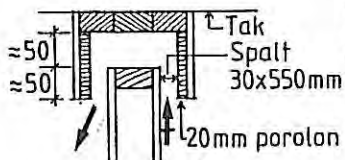


Tilluftsventiler:
Fortrengn.ventilasjon m/diffus
tilluft = $v_{brutto} = 0,14 \text{ m/s}$

Soverom/hall v. gulv:
Ca. 40 % perf. plate
m/brutto areal = $0,10 \text{ m}^2$

Lite soverom:
Spalt under dør
25 mm spalthøyde

Overluftsventiler:
Lydfelle v. tak
14 – 17 l/s:
(Spalthast. = $0,85 - 1,0 \text{ m/s}$)



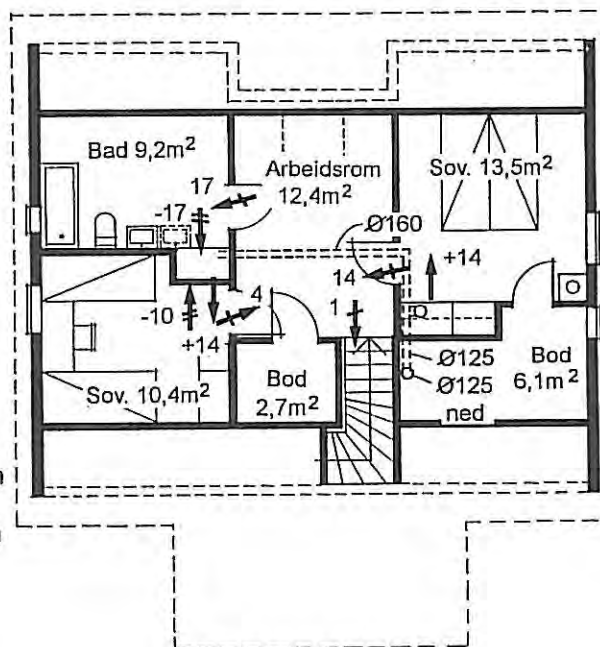
10 l/s : 20 – 30 mm x 550 mm
spalt i lydfelle v. tak

Avtreksventiler:

Netto hastighet : ca. 3 m/s ($\Delta p = 5,5 \text{ Pa}$)

10 l/s $\Rightarrow A_{netto} = 0,0033 \text{ m}^2 = 33 \text{ cm}^2 = \phi 65 \text{ mm}$ (2 x $\phi 45 = \text{bedre}$) eller SPACE-1-125

17 l/s $\Rightarrow A_{netto} = 0,0057 \text{ m}^2 = 57 \text{ cm}^2 = \phi 85 \text{ mm}$ (3 x $\phi 50 = \text{bedre}$) eller SPACE-1-160



Ventilasjon:
→ Frisklufttilførsel
⇨ Overluft
⇦ Avtrekk

Luftmengder i l/s
7 l/s = $25 \text{ m}^3/\text{h}$
10 l/s = $36 \text{ m}^3/\text{h}$
12 l/s = $43 \text{ m}^3/\text{h}$
14 l/s = $50 \text{ m}^3/\text{h}$
17 l/s = $61 \text{ m}^3/\text{h}$

Totalt : $61 \text{ l/s} = 220 \text{ m}^3/\text{h}$
= $0,7 \text{ luftv./h}$

Jordrør : $\phi 200$

$61 \text{ l/s} \rightarrow 1,94 \text{ m/s}$

$P_d = 2,26 \text{ Pa}$, $\Delta p = 0,3 \text{ Pa/m}$

Fig. 3.1.3. Angivelse av interne luftveier i boligen og dimensjonerende luftmengder, kanal- og ventildimensjoner. (Siv. ing. Trygve Hestad, Byggforsk)

3.2 VANN- OG AVLØPSANLEGGET

I referanseboligen er det forutsatt brukt en installasjonskjerne der man konsentrerer våtseksjonene (kjøkken/bad/vaskerom) på begge sider av en installasjonsvegg. På denne måten vil man samtidig få et sentralt plassert felles oppstikk for vann og avløpsledningen der all rørfordeling til utstyr i prinsippet kan foregå over gulvnivået. Hvis det skal gjenvinnes varme fra det grå avløpsvannet eller hvis dette skal infiltreres i grunnen, vil det være nødvendig med to avløpsledninger der gråvannsledningen har en diameter på 50 mm. I tilknytning til installasjonskjernen er det avsatt plass for betjening av stoppekran og stake/spylepunkt på avløpsledningen.

Hvis det er anlagt et sekundærnett med rørføring under husrekker, kan man også ha en luke i gulvet som gjør det mulig å inspisere rørskjøten på vannledningen. På denne måten vil stikkledningsnettet elimineres og man oppnår betydelig besparelser på rørnettet. Ved å bruke en installasjonsvegg og sjaktløsning blir det enklere å innføre vannskadesikre løsninger uten vesentlige tilleggskostnader. Figur 3.2 viser eksempel på hvordan både dusjkabinett, servant og toalett kan monteres på eller i tilknytning til installasjonsveggen med rørføring frem til installasjonssjakten.

Hvis man i tillegg ønsker bad, kan man bruke en tilsvarende rørføring uten at det er nødvendig å føre avløpet ned i gulvet. På denne måten kan badet utføres uten fall og bruk av et vanlig gulvsluk. Dette forutsetter at man bygger opp terskelen til baderommet noe. Hvis man ønsker et sluk i gulvet for å sikre mot oversvømmelser ved ledningsbrudd el.l., kan man montere et veggsluk i tilknytning til installasjonskjernen. Dette kan man også gjøre på kjøkkensiden. Denne utførelsen vil forenkle gulv på grunnen løsningen i betydelig grad der man ikke er avhengig av å bruke støpt badegulv. Man kan da bruke en godt isolert lett gulvkonstruksjon i hele boligen.

Nærmere detaljer i utførelsen av installasjonsveggen og sjaktløsningen og grad av prefabrikkasjon, (en våtromsenhet egner seg godt for prefabrikkasjon) vil bli utviklet ved prosjektering av referanseboligen som vil starte opp i prosjektets fase 2 og 3.

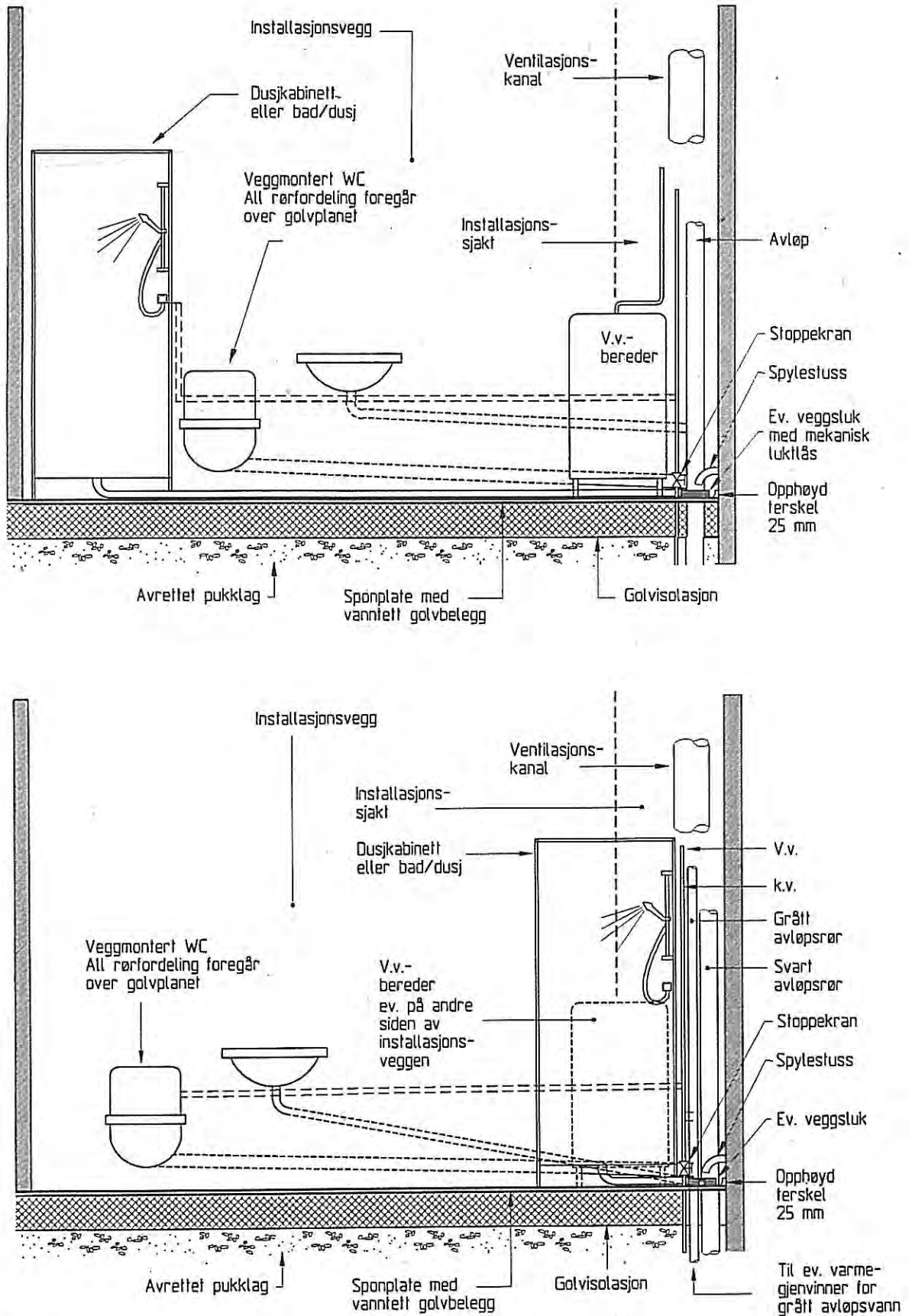


Fig. 3.2. Prinsippkisser. Eksempler på oppbygging av et baderom med installasjonsvegg og sjakt med bruk av vannskadesikre løsninger der all rørfordeleling er foretatt over golvplanet.

3.3 ELEKTRISKE INSTALLASJONER, VARMEANLEGGET

For å sikre en god fleksibel temperaturkontroll og lave kostnader, vil det bli brukt termostatstyrte elektriske panelovner. Da det legges opp til en moderat temperatursoning, er det en fordel om de enkelte rom har en egen temperaturkontroll. Det vil bli brukt en vindustype med en U-verdi $< 1.6 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dette vil sikre mot kaldras fra vinduer uavhengig av at varmeovnene plasseres under vinduer. Man får dermed større frihet til å plassere ovnene på hensiktsmessige steder i rommet.

Varmeovnene kan plasseres på innervegger som muliggjør et enklere opplegg for det elektriske anlegget. Installasjoner på yttervegger og da spesielt elektrisk anlegg, må kunne monteres uten at klimaskjermen skades. Dette kan få uheldige følger for både for lufttettheten og varmetapet. Her som på andre felter er det viktig at man velger løsninger som er fleksible, enkle å montere og samtidig har en akseptabel design. Det finnes flere monteringsystemer for åpne elektriske anlegg i form av gulvlistor etc. på markedet. Da disse anleggene er relativt kostbare, er det her rom for en produktutvikling av enkle kostnadseffektive systemløsninger. Dette arbeidet vil starte opp i prosjektes fase 2 og 3.

Av komfortsyn er det normalt ønske om å anlegge gulvvarme i badet i hovedetasjen med gulv på grunnen. Dette er helt nødvendig hvis man ønsker å bruke fliser på badegulvet. For at dette gulvet ikke skal føles kaldt for en barfotet person, må overflatetemperaturen opp i over $28 \text{ }^\circ\text{C}$. Det vanlige er derfor å dimensjonere baderommet for gulvtemperaturer på $30 - 32 \text{ }^\circ\text{C}$. Det finnes i dag flere systemløsninger for gulvvarme basert på bruk av elektriske varmekabler som ikke bygger mer enn 20-30 mm og som ikke krever bruk av betong for å sikre god varmfordeling. Hvis det skal brukes elektriske varmekabler i gulvet, bør det brukes tolederkabler for å redusere det magnetiske feltet som ellers kan være betydelig.

Hvis badegulvet skal varmes opp med varmt vann, er det en fordel å legge varmerørene i betong for å få en god varmfordeling. Det kan også ha produksjonstekniske fordeler å bruke støpt gulv på badet for å oppnå fall hvis gulvet er utført med et vanlig gulvsluk. Betonggulvet vil også fiksere oppstikket for VA-ledninger. Dette kan være en fordel i en anleggsfase, men kan skape problemer hvis det senere oppstår feil som krever tilgjengelighet til ledninger og gulvvarmerør eller kabler.

Det bør vurderes om vannledningen under huset bør legges i et varerør med mulighet for utskiftning, eller at det legges et tomt varerør parallelt med vannrøret under boligen. Hvis badegulvet er utført med et betongdekke med varmekabler, kan disse bli brukt til betonguttørringen før legging av damptett gulvbelegg. Forsert uttørring gir svinnsprekker å

bør unngås. Betonggulv med gulvvarme må være tørrere enn gulv uten varme før legging av dampnett gulvbelegg, se avsnitt 5.1. Skal man bruke betonggulv på grunnen med gulvvarme, vil dette medføre tilleggskostnader da det kreves betydelig tilleggsisolasjon. Da badet i hovedetasjen i referanseboligen bare har en gulvflate på ca. 7.0 m², samtidig som det i grunnkonseptet inngår en betydelig økning av gulvisolasjonen, kan denne løsningen allikevel forsvares.

Som et alternativ til en gulv på grunnen med betongdekke og gulvvarme, kan det være økonomisk og produksjonsteknisk mulig å bygge et lett godt isolert badegulv uten bruk betong. Dette er en vanlig konstruksjon for et badegulv i et mellombjelkelag i tre. En stråleovn vil da kunne gi meget god komfort med vesentlig lavere kostnader enn ved bruk av gulvvarme. Hvis man anlegger gulvvarme i tilknytning til en lett gulvkonstruksjon, vil denne være mindre varmetreg, lettere å regulere og dermed mer energieffektiv. Dette vil bli vurdert i prosjektets fase 2 som omfatter produktutvikling og utprøving av delkonstruksjoner, se forøvrig avsnitt 5.2.

4 KLIMASKJERMEN

I klimaskjermen inngår vinduer, dører, vegger, tak og gulv. Boligens lufttetthet er avhengig av klimaskjermens utførelse. Energisparetiltak som er direkte tilknyttet klimaskjermen er såkalte passive tiltak som bør ha høy prioritet i et lavenergikonsept. Varmetapet gjennom gulv på grunnen er behandlet spesielt under punkt 5.

4.1 LUFTTETTHET

For å oppnå lavenergi, må man unngå ukontrollerte luftlekkasjer. Man må derfor gjøre huset så tett som mulig og da helst med et lekkasjetall ≤ 1.0 . Skal man oppnå denne lufttettheten, er det lagt vekt på å gjøre bygningskonstruksjonen er så enkel og oversiktlig som mulig. Man må være spesielt omhyggelig med lufttetting ved tilslutninger mellom bygningsdeler, og da særlig ved overgang gulv/vegg, vegg/tak og ved gjennomføringer. For å sikre boligens lufttetthet økes innvendig dampspærre av polyetylenfolie fra dagens vanlige 0.15 mm til 0.2 mm. Man får da en mer robust folie som tåler mer under montasje. For å unngå skader på folien og forenkle monteringen, vil det vil bli brukt en åpen fleksibel systemløsning for elektrisk anlegg i tilknytning til utvendige vegger.

Vi har i dag relativ gode kunnskaper om hvordan man skal oppnå en lufttett bolig. Sett i relasjon til dagens praksis, er dette kanskje det området der det ligger størst mulighet for potensielle energibesparelser med minimale investeringer. Ved å redusere lekkasjetallet fra 4 (dagens forskrifter) til 1, utgjør dette omtrent energibehovet for varmt tappevann, se

avsnitt 6.3.4. Det er relativt enkelt å kontrollere lufttettheten etter at boligen er ferdig. Dette gjør det også mulig å foreta forbedringer hvis det oppdages større luftlekkasjer.

4.2 KOSTNADSEFFEKTIV VEGGKONSTRUKSJON MED LAV U-VERDI

I en lavenergibolig bør veggen ha en U-verdi $< 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Veggtykkelsen bør samtidig ikke overstige 200 - 250 mm. Da begynner kostnadene å overstige besparelsene, og sekundære kostnadseffekter på grunn av tap av boligareale blir mer merkbart. En vegg med denne tykkelsen vil gi en U-verdi på $0,20 - 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ noe avhengig av oppbyggingen og valg av isolasjonsmaterialer.

Når man kommer opp i veggtykkelser på 200 mm, vil kuldebroer på grunn av gjennomgående trestendere relativt sett få større betydning for varmetapet. 200 mm er øvre grense for vanlige trestendere. Større tykkelser krever utforing, som er svært fordyrende. For å unngå intern konveksjon i tykke vegger uten horisontale losholter er det viktig med en nøyaktig isolasjonsutførelse i tillegg til at det må brukes en type isolasjon som ikke er for luftåpen. Gjennomgående vertikale spalter på grunn av unøyaktig isolasjonsutførelse må unngås. Dette fremmer bruk av stendere med nøyaktig utførelse og jevn tykkelse over hele veggverrsnittet. I-profiler krever bruk av spesialisolasjon for å fylle ut stegene, og gir ikke optimalt resultat.

Målsettingen er å bygge opp en vegg med optimale varmetekniske egenskaper som samtidig er rimlig å produsere og montere.

Rent varmeteknisk kan det være en fordel om man kan erstatte trematerialer eller kombinere disse med bruk av trykkfaste høyverdige isolasjonsmaterialer som kan inngå som bærende elementer i veggen. Trematerialer, med en varmeledningsevne på $0,12 \text{ W/mK}$, er et relativt dårlig isolasjonemateriale sett i sammenheng med f.eks. ekstrudert polystyren med en varmeledningsevne på $0,03 \text{ W/mK}$. Imidlertid har trematerialer en rekke gunstige egenskaper som bør utnyttes. Tre har stor styrke, er relativt rimelig (dimensjonsavhengig), lett å bearbeide, samtidig som det kommer meget gunstig energimessig ut sammenlignet med andre bygningsmaterialer. Spørsmålet er om tradisjonelt oppbygde vegger med heltrestendere kan konkurrere prismessig når man kommer opp i veggtykkelser på 200 mm og mer. Markedsundersøkelser viser at f.eks. I-profiler er konkurransedyktige for veggtykkelser $> 200 \text{ mm}$.

For å oppnå lavest mulig U-verdi for samme veggtykkelse, er det i en varmeteknisk sammenheng gunstig å bruke isolasjonsmaterialer med lavest mulig varmeledningsevne.

Tabell 4.2 viser varmeledningsevne og sammenlignbare tykkelser for aktuelle isolasjonsmaterialer i bygningskonstruksjoner.

En like viktig faktor er veggens kostnad pr. U-verdienhet. Det er denne kostnaden for en ferdig oppsatt vegg som er referansegrunnlaget når veggtyper skal vurderes mot hverandre. I denne analysen inngår også faktorer som veggens lydtekniske egenskaper og veggens tykkelse som kan gi sekundære kostnader.

Tabell 4.2

Varmeledningsevne og sammenlignbare tykkelser for aktuelle isolasjonsmaterialer i bygningskonstruksjoner

Isolasjonsmateriale	Varmeledningsevne (W/m ² K)	Isolasjonstykkelser som gir lik U-verdi (mm)	
Mineralull	0.036	200	250
Ekspandert polystyren	0.036	200	250
Ekstrudert polystyren	0.030	167	208
Polyuretan	0.028	156	194
Cellulosefiber	0.039	217	270

Tabell 4.2 viser at isolasjonsmaterialer som ekstrudert polystyren og polyuretan kommer best ut. Praktisk varmeledningsevne for disse materialene er nær lik, mens egenskaper forøvrig er svært ulike. På grunn av kostnadmessige og lydtekniske forhold, ses det i første omgang bort fra en veggoppbygging med gipsplater og polyuretanisolasjon.

Vi kan ta utgangspunkt i fire forskjellige utførelser med veggtykkelser på 200 og 250 mm, se også tabell 4.2.1.

1. 36×198 mm stendere (tradisjonell utførelse), fig. 4.2 a
2. 48×48 mm stendere med ekstrudert polystyrenkjerne, fig. 4.2 b
3. 36×148 mm stendere krysslågt med 48×48 mm, fig. 4.2 c
4. 36×148 mm stendere med 50 mm ekstruderte polystyrenplater som vindsperre og kuldebrobryter, fig. 4.2 d
5. 198 mm stendere av I - profiler med 48×48 mm flenser, fig. 4.2 e.

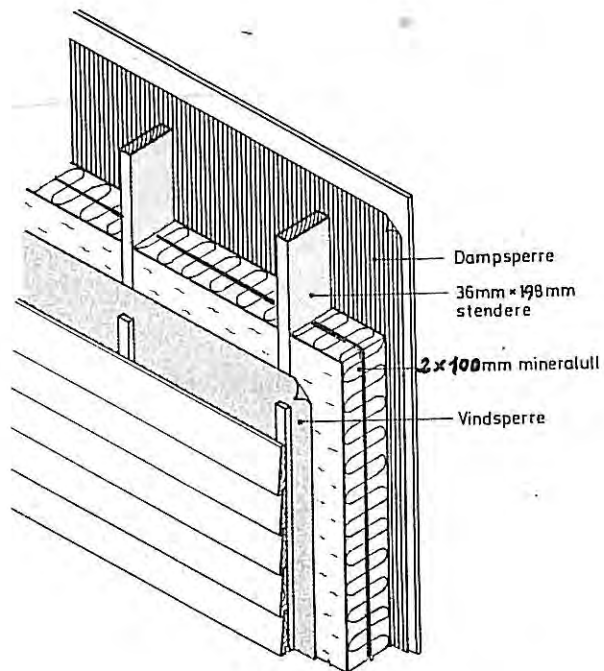


Fig.4.2 a. Vegg med 36 x 198 mm stendere og 2 x 100 mm mineralull

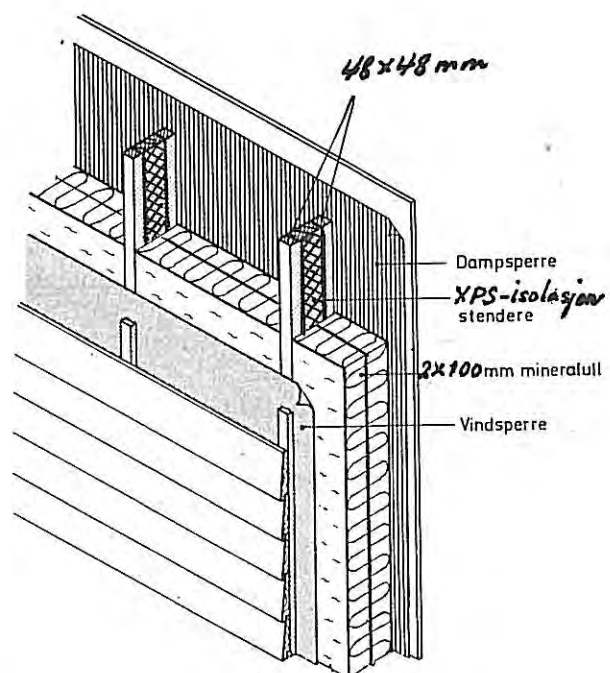


Fig. 4.2 b. Veggstendere med ekstrudert polystyrenkjerne og 2 x 100 mineralull

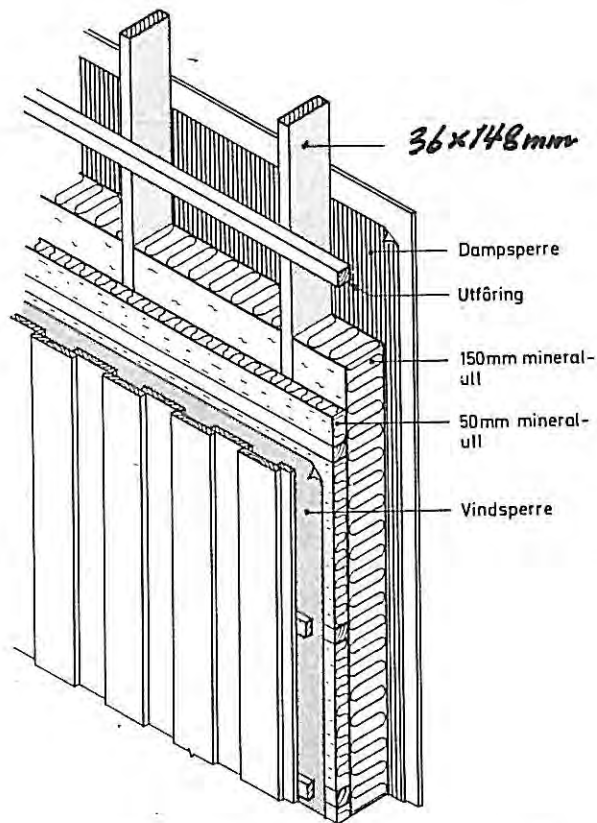


Fig. 4.2 c. Krysslagte stendere med 150 × 50 mm mineralull

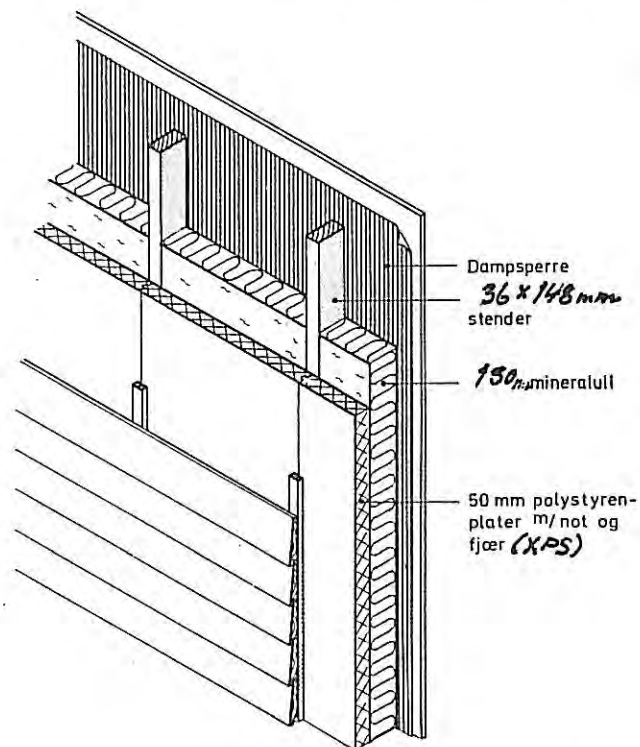


Fig. 4.2 d. Vegg med 36 × 148 stendere med 50 mm tykke ekstruderte polystyrenplater som vindsperre og kuldebrobryter

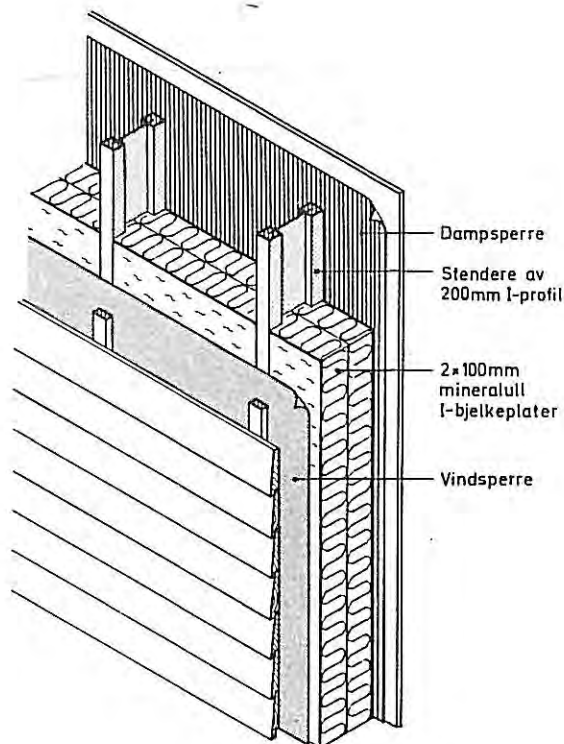


Fig. 4.2 e. Vegg med I-profiler og 2×100 mm mineralull

4.2.1 Bestemmelse av U-verdier

Tabell 4.2.1

U-verdier (W/m^2K) for bindingsverksvegg. Vindsperre av papp

	Type bindingsverk	Veggykkelse	
		200 mm	250 mm
1.	Heltre $36 \times 198 - 48 \times 198$	0.20 - 0.21	0.17 - 0.18
2.	Stendere med polystyrenkjerne	(0.188) 0.19	0.15
3.	Krysslågt isolasjon (mineralull)	0.20 - 0.21	0.17 - 0.18
4.	50 mm ekstruderte polystyrenplater som vindsperre og kuldebryter	(0.186) 0.19	0.16
5.	I-profiler	(0.192) 0.19	0.16

En tradisjonell og produksjonsteknisk enkel måte å bygge opp en vegg, er å bruke heltrestendere som dekker hulrommet som skal fylles med isolasjon. Denne metoden er velegnet for veggtykkelser opp til 150 mm. Når veggtykkelsen kommer opp mot 200 mm eller mer, vil denne utførelsen være mindre egnet. Trebjelker i disse dimensjonene brukes vanligvis i bjelkelag, takstoler etc. Hvis disse dimensjonene også skulle bli standard for veggerstendere, vil dette kunne føre til et press på disse dimensjonene som kan gi en uheldig prisutvikling. Det er også et spørsmål om formnøyaktigheten spesielt for dimensjonen 36 x 198 mm. En fullgod isolering krever en nøyaktig utførelse. Disse forhold i tillegg til kuldebrovirkningen gjør det i denne sammenhengen interessant å vurdere andre løsninger når det gjelder veggoppbyggingen.

Av tabell 4.2.1 fremgår det at ved å bruke stendere med polystyrenkjerne fig. 4.2 b, kommer man samlet best ut varmeteknisk. Samtidig vil dette kunne gi en enklere montering enn å bruke I-profiler som krever spesiell isolasjon.

Veggen der man erstatter utvendig vindsperre med 50 mm ekstruderte polystyrenplater, fig. 4.2 d, er også en varmeteknisk gunstig løsning. Samtidig kan det være en fordel å unngå for store tykkelser med en mer åpen isolasjonstype (mineralull) for å eliminere mulighetene for intern konveksjon i veggen. Denne løsningen vil imidlertid kreve noe mer tilpassingsarbeid for å få gode løsninger ved vinduer.

Vi finner det mest interessant i denne sammenhengen å foreta en nærmere vurdering av veggkonstruksjonen med stendere av polystyrenkjerne. Med slike stendere kan veggen bygges på tradisjonell måte, med alle de kjente og gjennomprøvde detaljløsninger som allerede finnes.

4.2.2 Vurdering av veggens totalkostnader

I totalkostnadene for en veggkonstruksjon inngår bl.a. faktorer som veggens U-verdi i tillegg til produksjons- og monteringskostnader. Veggtykkelsen er ikke en entydig parameter idet to vegger med samme tykkelse kan ha forskjellig U-verdi. Da veggkostnadene er sammensatt av en rekke forhold som også kan være stedsavhengige, er det ikke mulig å gi et fasitsvar på hvilken veggoppbygging som samlet sett gir den optimale løsningen.

Det er foretatt en parameterstudie for energi og effektbehov, se avsnitt 6.3, der det konkluderes med at en tradisjonelt oppbygd vegg med bruk av spesialstendere og 200 mm isolasjon, fig. 4.2 b, vil bli vurdert i lavenergikonseptet. Dette er forøvrig forhold som vil bli belyst nærmere i prosjektets fase 2 og 3 som omfatter fullskala forsøksbygging.

4.3 TAK

Det vises her til parameterstudien for energi og effektbehov punkt 6.3.6 der det fremgår at det vil bli benyttet en takkonstruksjon med en U-verdi på $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dette svarer til en isolasjonstykkelse på 250 mm. I dag brukes 198 eller 223 mm høye takbjelker med 200 mm isolasjon og 50 mm påføring for lufting. For å øke isolasjonstykkelsen til 250 mm i den skrå himlingen, kan man f.eks. gå over til å bruke en type I-profiler. Som det fremgår av parameterstudien avsnitt 6.3.6, vil det bare være marginale energigevinster å hente ved å øke isolasjonstykkelsen med 25 mm i den skrå himlingen. Det forutsettes derfor at overgangen til bruk av I-profiler ikke fører til bygningsmessige tilleggskostnader av betydning. Også for takkonstruksjonen bør det være mulig med konstruktive forenklinger som kan kompensere noe for økte isolasjonskostnader. Dette kan være bruk av trekantrammer med fritt spenn uten midtopplegg, lufting mellom tekking og undertak etc.

4.4 VINDUER

Viktige faktorer når man skal bestemme vindustyper vil være:

- *U-verdi (varmetap)*
- *Solfaktor (energitilgang)*
- *Dagslystilførsel*
- *Dimensjoner (kaldras)*
- *Orientering*
- *Pris*

Tabell 4.4.a. Variasjoner av U-verdier og solfaktorer for forskjellige vindustyper

Vindustype	U-verdi ($\text{W/m}^2\text{K}$)	Solfaktor
Enkelt glass	5.2	0.87
To glass, termorute	2.8	0.76
Tre glass, termorute	2.0	0.67
To glass, energirute	1.5 - 1.9	0.60 - 0.72
Tre glass, energirute	1.1 - 1.4	0.45 - 0.62

Det fremgår av tabell 4.4 a at det er store variasjoner både i U-verdier og solfaktorer for de forskjellige typer energiruter. Dette skyldes forskjellige typer og antall emisjonsbelegg og om det er brukt gassfylling og type gass. Tabell 4.4 b gir en oversikt over egenskaper for forskjellige (Nor-Dan) energivinduer med antydning av prisdifferanser. Disse data er lagt til grunn for energi- og effekt simuleringer.

Tabell 4.4 b. Egenskaper for forskjellige typer vinduer med prisdifferanser (Nor-Dan)
(Verdiene i tabellen er basert på beregninger som kan avvike noe fra målinger)

Betegnelse	Glass	U-verdi W/m ² K	Soltranms.	Prisdiff.
ND 92	4-12-E4	1.71	71%	0
"	4-16g-E4	1.54	72%	7%
"	4-12-4-12-E4	1.37	62%	13%
"	4-12-4-12g-E4	1.28	62%	17%
ND 92 Turbo	4E-12g-4-12g-E4	1.07	53%	27%
ND 92 2+1 Koblet	4-43-4-12-E4	1.25	62%	45%
ND-92 2+1 Super	4-68-Kf.4-16g-E4	0.96	59%	65%
ND-92 3+1 Super	4-46-4E-16g-4-16g-4E	0.86	58%	75%

E = Lavemisjonsbelegg

g = Gassfylling (Argon)

4.4.1 U-VERDI OG SOLFAKTOR FOR VINDUER I EN LAVENERGIBOLIG

For lavenergiboliger der varmetapet er beskjedent, vil energitilskuddet fra solinnstråling (passiv tilskuddsvarme) ha stor betydning for boligens energiforbruk. Det vil derfor være vinduenes orientering i kombinasjon med vinduenes U-verdi og solfaktor som er avgjørende for energibehovet, såkalt effektiv U-verdi. Det er derfor i energisammenheng uheldig ensidig å fokusere oppmerksomheten på vinduenes "mørke" U-verdi som det er gjort i byggeforskriftene, og som bare sier noe om varmetapet. Vinduenes mørke U-verdi legges til grunn for bestemmelse av dimensjonerende effekter, kaldras fra vinduer etc. Som det fremgår av tabell 4.3 b vil tolags energiglass med gassfylling ha betydelig høyere solfaktor enn tilsvarende trelags vinduer. I tillegg til energiforbruket er det samtidig av komforthensyn (unngå kaldras) viktig å redusere varmetapet fra vinduene spesielt under dimensjonerende forhold vinterstid. For de vindusstørrelser som det er vanlig å bruke i mindre boliger, vil en mørk U-verdi ≤ 1.6 W/m²K være tilstrekkelig til å unngå kaldras. Lave varmetap og dermed også effektbehov favoriserer begrensede vindusarealer og lave mørke U-verdier. Det er foretatt nærmere vurderinger av vindusvalg i avsnitt om energi- og effektsimuleringer, se avsnitt 6.3.1. Konklusjonen her er relativt entydig. To-lags gassfylte vinduer med lavemisjonsbelegg vil samlet sett gi best totaløkonomi for referanseboligen .

5 GULV PÅ GRUNNEN.

5.1 ALTERNATIVE ENERGI- OG KOSTNADSEFFEKTIVE LØSNINGER

Fundamentering av småhus med gulv på grunnen benyttes nå nesten uten unntak, både i kjellerløse hus og i hus med kjeller eller underetasje. Det vanlige er da å bruke en konstruksjon som angitt i fig. 5.1 a.

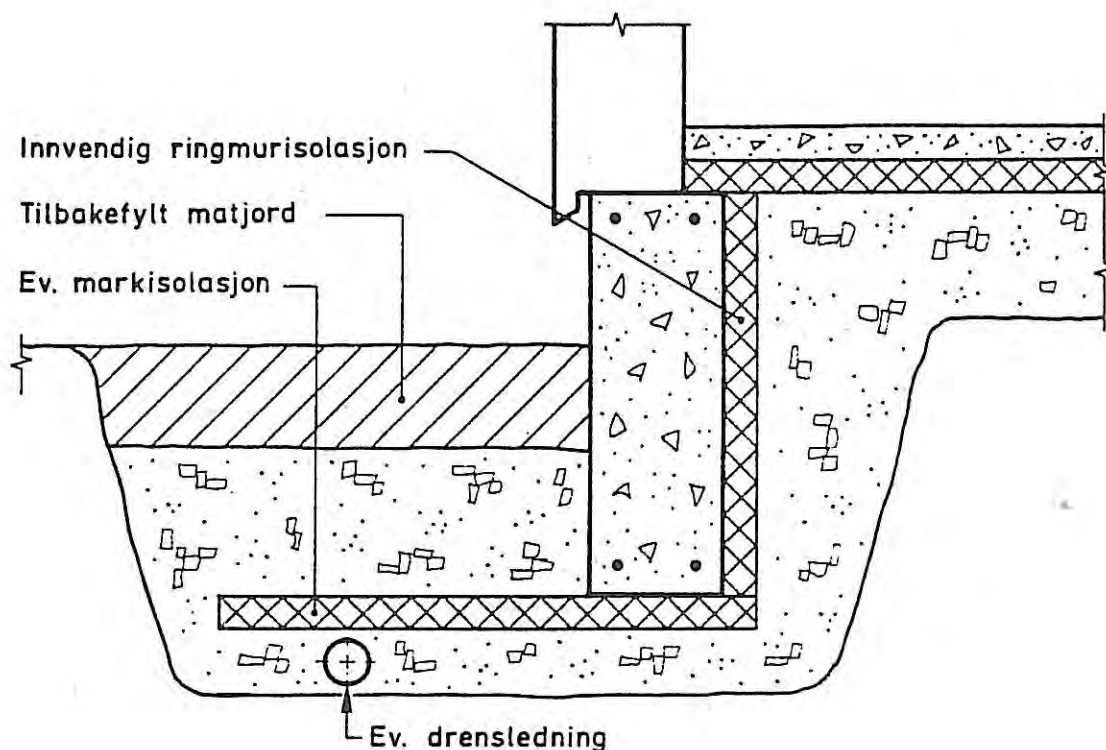


Fig. 5.1 a. Tradisjonell utførelse av en gulv på grunnen konstruksjon med innvendig isolert ringmur. Vanlig isolasjonstykkelse i gulv og ringmur er 50 - 60 mm

Konstruksjonen består av en innvendig isolert ringmur og en betongplate med underliggende varmeisolasjon som samtidig virker som et kapillarbrytende lag. Under isolasjonen er det derfor tilstrekkelig med et drenerende materiale f.eks. grus. Det brukes også finpukk, som i en viss tykkelse (300-400 mm) i tillegg er kapillarbrytende. Finpukk er gunstig også fordi dette materialet er nær selvkomprimerende og har lav varmeledningsevne (ca. 0.6 W/mK). Som beskyttelse mot vanddamp fra grunnen legges generelt en 0.2 mm plastfolie over isolasjonen, se fig. 5.1 b.

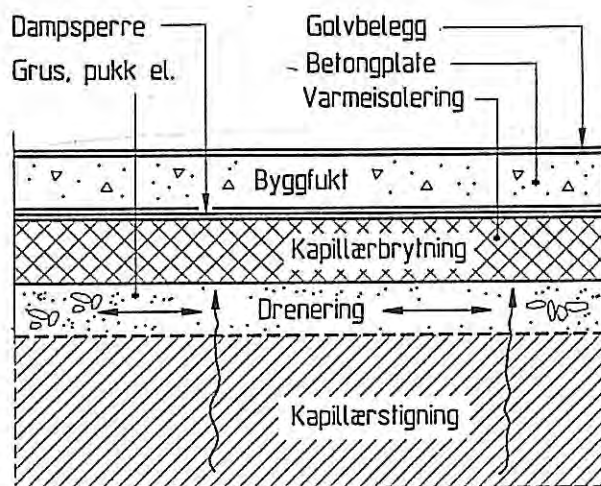


Fig. 5.1 b. Prinsipiell oppbygging av et gulv på grunnen

Når betonggulvet avrettes på toppen, får det varierende tykkelse, avhengig av nøyaktighetsgraden for underkonstruksjonen. Betonggulvet tilfører konstruksjonen betydelig byggfukt. Da betonggulvet samtidig støpes mot en plastfolie, må uttørkingen av betongen skje oppover. Skal man senere legge et damptett gulvbelegg som vinyl, linoleum, kork el.l. krever dette et lavt fuktinnhold ($< 90\%$ RF) i betongen. Hvis det skal anlegges gulvvarme, må kravet til fuktinnhold i betongen skjeperes ytterligere ($< 60\%$ RF) for å unngå skader. Dette betyr i praksis at det kreves en uttørringstid på fra 4 til 8 uker før man kan legge et tett gulvbelegg. Den reelle uttørringen starter først når betongen er under tak og beskyttet mot nedbør. I tillegg til tykkelsen på betongplaten og betongkvaliteten, vil uttørringen være avhengig av lokale klimatiske forhold som gjør det vanskelig å anslå fuktinnholdet. Man bør derfor alltid måle fuktinnholdet i betongen før belegget legges. Bruk av et betongdekke med dagens betongkvaliteter, vil lett kunne representere en flaskehals i en rasjonell boligproduksjon der byggetiden for en enebolig kan ligge på ca. 5 uker.

Et annet forhold er at det er kostbart å anlegge et betongdekke som krever stor nøyaktighet i utførelsen. For å avrette betongplaten før man kan legge gulvbelegget, blir det ofte brukt en selvavrettende masse. Igjen tilføres byggfukt som krever ytterligere uttørringstid.

5.1.1 Betonggulv har stor varmetreghet

Da man alltid vil ha et varmetap mot undergrunnen, vil gulvet normalt holde en lavere overflatetemperatur enn romluften. Et betongdekke har en relativt høy varmekapasitet som under spesielle forutsetninger kan utnyttes til å akkumulere varme. Dette kan ha betydning for å dempe temperaturstigningen på varme dager og gjelder særlig rom med store vindusarealer mot syd med en utilstrekkelig solavskjerming. For å kunne utnytte

varmekapasiteten i betonggulvet, er det viktig at dette er minst mulig tildekket. Et parkettgulv på et 5 mm tykt underlag av polyetylenisolasjon, eller et lag med vinylfilt over betongdekket, vil f.eks. begrense betongens evne til varmelagring overfor døgnsvingninger i lufttemperaturen. Varmelagringen vil være mest effektiv ved direkte solinnfall. Man har imidlertid lett for å overvurdere gulvets muligheter for varmelagring og dermed evne til å dempe overtemperaturer i rommet. Overtemperaturer forhindres best ved en effektiv solavskjerming.

Generelt vil et permanent varmetap fra en vanlig utført gulvkonstruksjon til undergrunnen være en ulempe, og vil kunne føre til lave gulvtemperaturer. Hvis gulvet ikke er utført med gulvvarme, vil eneste varmekilde for å varme opp gulvet være varme tilført fra omgivelsene. I et soverom der man f.eks. har vindu oppe om natten, kan man lett få en døgnmiddeltemperatur i rommet på 15 - 16 °C. Dette betyr at overflatetemperaturen på et betonggulv med et gulvbelegg bare vil ligge 13 til 14 °C. Ubehaget ved lave gulvtemperatur kan kompenseres ved å legge et teppe på gulvet el.l. Man kan også bruke gulvvarme som forøvrig i denne sammenhengen vil gi et betydelig økt varmetap. Alternativet er å anvende en godt isolert lettere gulvkonstruksjon som hurtig kan følge svingninger i romlufttemperaturen.

Overflatetemperaturen på gulvet vil også være avhengig av gulvets varmetap til undergrunnen. Dette varmetapet vil variere over året og vil være størst vinterstid i en randsone mot yttervegger der det kan oppstå problemer med kuldebroer på grunn av gjennomgående tresvill, luftlekkasjer etc.

5.1.2 Varmetap og U-verdi

Gulvet har et varmetap til grunnen over hele året; ikke bare i fyringssesongen. Grunnens store varmetreghet gjør at man har mindre svingninger i det gjennomsnittlige varmetapet fra en gulvflate over året sammenlignet med en vegg- og takkonstruksjon. Samtidig har man en faseforskyvning på 1-2 måneder når det gjelder maksimalt varmetap fra gulvflaten til grunnen i forhold til laveste utelufttemperatur. Ved fyringssesongens slutt vil varmetapet fra gulvet være nær 90 % av maksimalt varmetap, se fig. 5.1.2 a. Det fremgår her at varmetapet fra gulvet øker utover fyringssesongen også etter at man har passert dimensjonerende forhold. Dette i motsetning til varmetapet fra vegger og tak som vil avta.

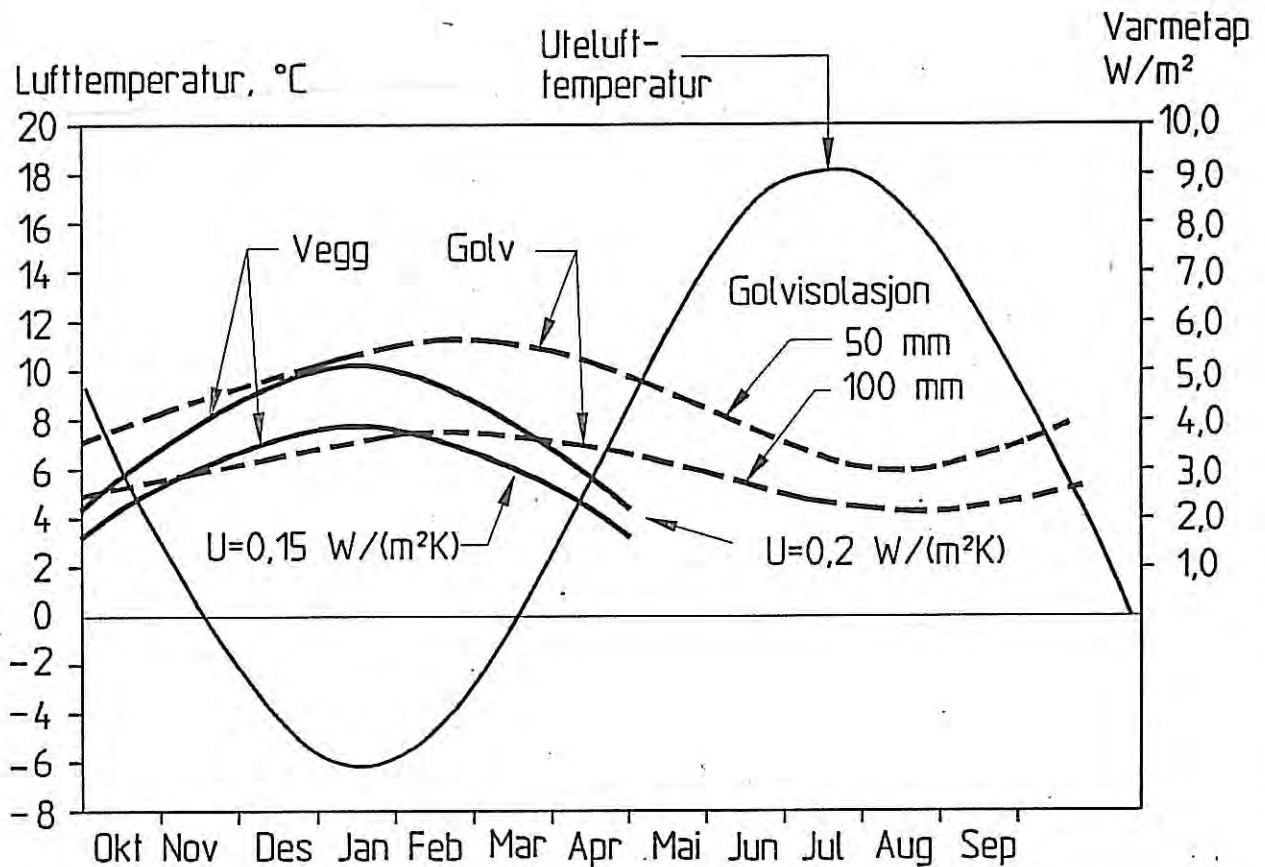


Fig. 5.1.2 a. Varmetap over året fra gulv på grunnen sammenlignet med en godt isolert vegg

En angitt U-verdi for gulvkonstruksjonen, som ved forenklete energiberegninger (NS 3031) er koblet mot utelufttemperaturen, er derfor en ekvivalent U-verdi som samlet over fyringssesongen skal gi et tilnærmet riktig akkumulert varmetap. Denne U-verdien kan derfor ikke brukes som grunnlag for effektberegninger. Beregningsforutsetningene etter NS 3031 forutsetter en effektiv temperaturutjevning i boligen. En forutsetning som ikke alltid er oppfylt. Det tenkes da særlig på underetasjer med beskjedne vindusarealer og badrom der man gjerne har noe varme på hele året.

Kravet i byggeforskriftene er at ekvivalent U-verdi for gulvet maksimalt skal være $0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$. I dag utføres gjerne vegger og tak i nye energieffektive hus med U-verdier på $0.2 - 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Skal man oppnå en tilsvarende ekvivalent U-verdi for gulvet, må man opp i isolasjonstykkelser på 100 til 150 mm og ikke 50 mm som er vanlig i dag, se fig. 5.1.2 b. På grunn av et betydelig varmetap fra gulvet til undergrunnen også utenfor fyringssesongen bør det absolutt være grunn til å prioritere en økning av gulvisolasjonen. Det er enkelt å øke gulvisolasjonen og man sparer samtidig kostbar pukk som brukes under gulvet.

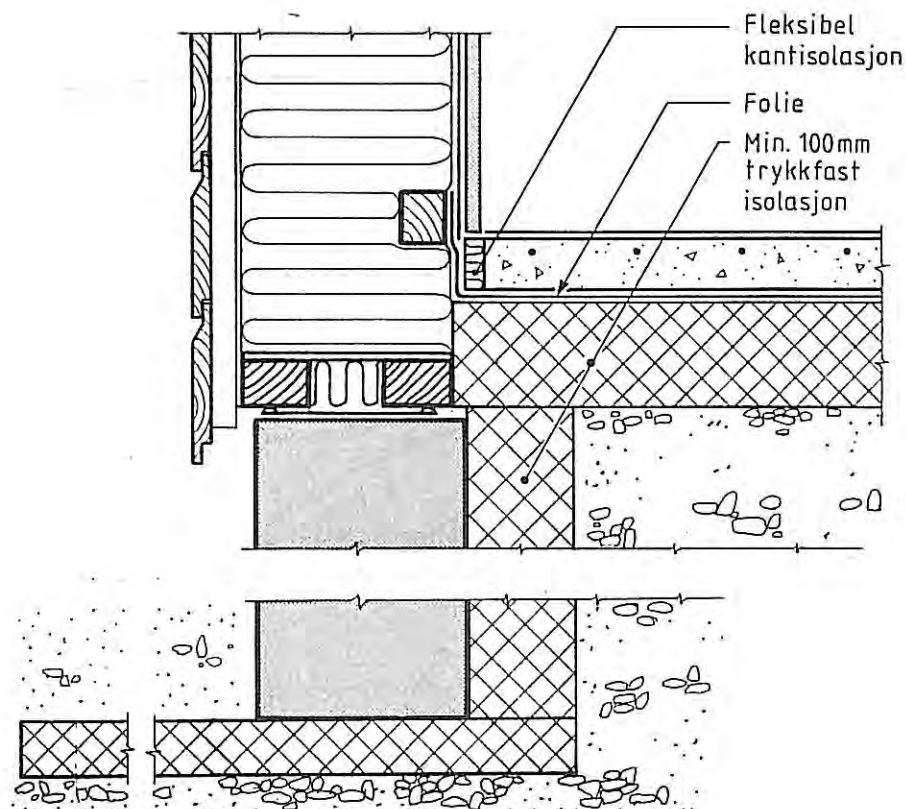


Fig. 5.1.2 b. Godt isolert gulv på grunnen konstruksjon uten kuldebro ved overgang gulv vegg. Horisontal isolasjon under ringmuren brukes i telefarlig grunn

5.1.3 Frostsikring

Når gulvisolasjonen økes, vil varmetapet fra gulvet til undergrunnen reduseres. For å sikre at ringmuren ikke utsettes for telehiv i telefarlig grunn, forlenges gulvisolasjonen med en horisontal markisolasjon utenfor ringmuren, se fig. 5.1.2 b. Isolasjonen kan i prinsippet dimensjoneres tilsvarende den teleisoleringen som brukes for telesikre uoppvarmede bygninger. Denne utførelsen sikrer gulvkonstruksjonen mot telehiv uavhengig av isolasjonstykkelsen og dermed varmetilførsel fra gulvet. Konstruksjonen vil dermed også kunne tåle den aktuelle frostbelastningen i en anleggsfase.

5.1.4 Kuldebroer

Varmetapet fra gulvet er størst ved en ytre randzone, ved utvendig hjørner og ved overgangen mellom gulv og vegg. Man må derfor være omhyggelig med utførelsen i disse områdene, se fig. 5.1.2 b. Gulvets ekvivalente U-verdi er derfor ikke bare bestemt av tykkelsen på gulvisolasjonen. Vel så viktig er isolasjonen ved ytre randzone som er direkte eksponert mot uteluften. Det har liten hensikt å bare øke tykkelsen på gulvisolasjonen hvis

man ikke samtidig eliminerer kuldebroen langs ytre randsone. Dette er det svake punkt på de fleste fundamentløsninger.

En gjennomgående tresvill vil også i denne sammenhengen virke som en kuldebro sammenlignet med en godt isolert veggkonstruksjon med bruk av I-profiler eller svill med isolasjonskjerne. I tillegg er det viktig å unngå luftlekkasjer ved overgangen mellom gulv og vegg der man ofte har et lokalt undertrykk inne i boligen.

5.2 LETT GULVKONSTRUKSJON UTEN BRUK AV BETONG

En tradisjonell utførelse av en energieffektiv gulv på grunnen konstruksjon som vist på fig. 5.1.2 b, er relativt kostbar. Ikke minst fordi ringmur og dekke må støpes i to operasjoner.

Skal man samtidig unngå problemer med stor byggfukt, lang uttørringstid og lave gulvtemperaturer, bør man erstatte betongdekket med andre materialer med lav varmeledningsevne og varmekapasitet.

Figur 5.2 a viser en tørr, lett og meget godt isolert gulvkonstruksjon uten noen form for kuldebroer. Gulvkonstruksjonen er bygd opp av ulike typer isolasjonsmaterialer. Den viste gulvkonstruksjonen har en ekvivalent U-verdi på ca. $0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$.

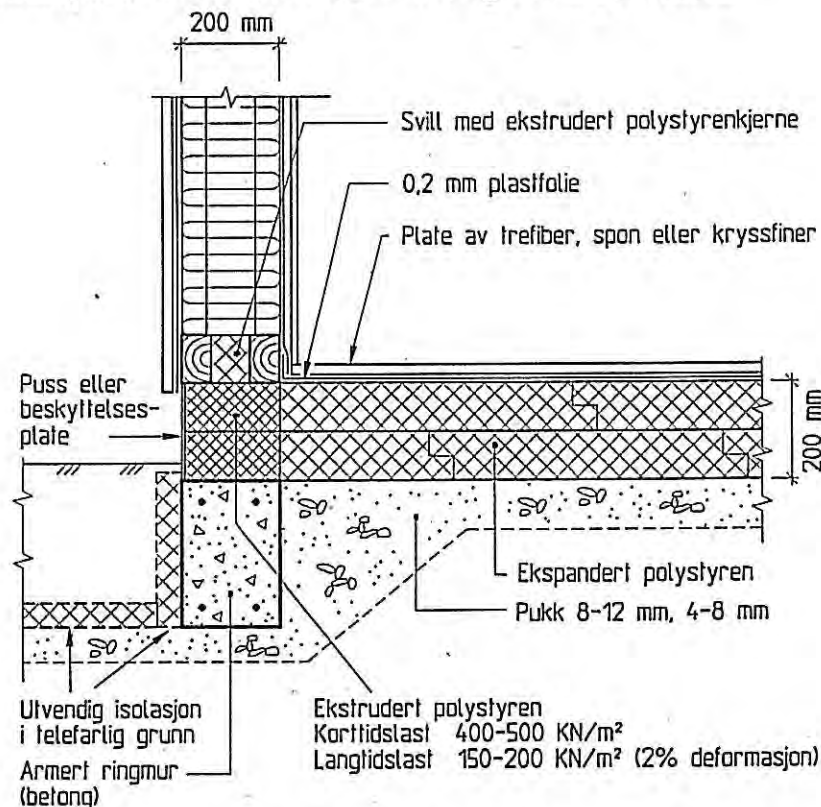


Fig. 5.2 a. Gulvkonstruksjonen er bygd opp av ulike typer isolasjon. I telefarlig grunn vil en horisontal markisolasjon sørge for frostsikring av ringmuren.

Ekvivalent U-verdi $\approx 0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ringmuren skal her tjene som en høydereferanse for avretting av pukklaget, i tillegg til forankring og fordeling av lasten til undergrunnen. Ved bruk av innvendige bærevegger kan man bruke en tilsvarende betongstripe. Bredden på ringmuren dimensjoneres etter grunnens bæreevne med en minste bredde på 200 mm. Som avrettingsmasse brukes ensgradert finpukk eller singel med kornstørrelse 8-12 mm eller 4-8 mm, evt. med et tynt gruslag for finjustering. Fordelen med finpukken er at denne massen er relativt lett å legge ut og avrette. Finpukken vil være tilnærmet selvkomprimerende, mens gruslaget må komprimeres. Hvis grunnen består av løsmasser, forutsettes det en tilfredstillende komprimering av undergrunnen før man legger pukklaget.

Over ringmuren legges en trykksterk isolasjon som skal tjene som underlag for veggsvillen. Denne isolasjonen kan være trykksterk ekstrudert polystyrenisolasjon med en kvalitet som tillater en langtidslast ved 2 % deformasjon på 150 - 250 kN/m². For vanlige boliger vil dette bety langtidssetninger i størrelsesorden 2 - 3 mm, som er uten praktisk betydning for konstruksjonen. Korttidstrykkstyrken for denne isolasjonen ligger på hele 400 - 700 kN/m². Hvis det legges flere lag, bør isolasjonen legges i forband for å unngå gjennomgående skjøter.

Istedenfor å bruke en vanlig gjennomgående tresvill er det bedre å bruke en spesialsvill som vist på fig. 5.2 b. Denne svillen er delt der det er limt inn en ekstrudert isolasjonskjerne for å eliminere muligheten for en kuldebro. Ved å gjøre svillen høyere og dermed stivere, vil man få en bedre fordeling av punktlaster fra stenderne samtidig som kravet til trykkstyrke for isolasjonen reduseres. Som alternativ til denne spesialsvillen kan det brukes en I-profil med forsterkede flenser. Ved å sette vegg på trykksterk isolasjon oppnår en meget god lufttetting mellom gulvet og veggkonstruksjonen. Man unngår samtidig å trekke vegg ned for gulvisolasjonen som vist på fig. 5.1.2 b som betyr kortere vegg og reduserte kostnader.

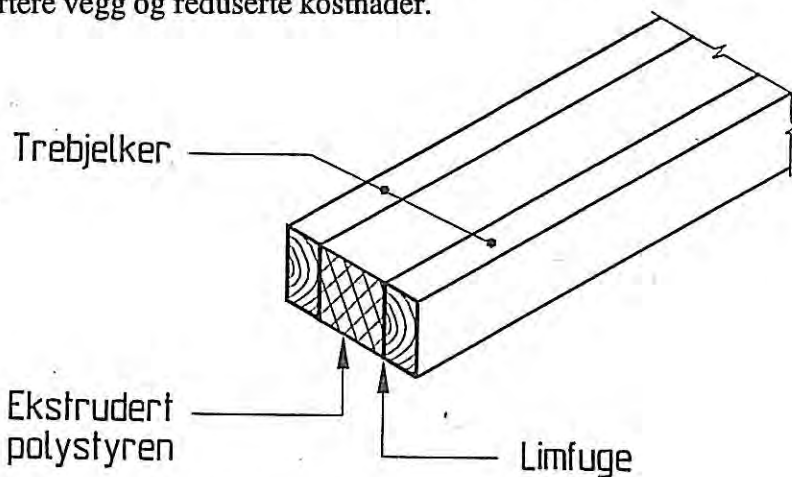


Fig. 5.2 b. Svill med ekstrudert polystyrenkjerne

Som gulvisolasjon kan det brukes en rimeligere isolasjonstype, for eks. vanlig ekspandert polystyren (20 kg/m^3) som også brukes i større veifyllinger. Denne isolasjonen, som kan ha en tykkelse på 200 mm eller mer, kan legges ut i flere lag. Isolasjonen bør være utført med falsede kanter eller en form for not og fjær for å øke stabiliteten og redusere kravet til avrettingen av pukklaget. Hvis det er behov for å utligne mindre ujevnheter, kan det legges 5 mm polyetylenisolasjon over gulvisolasjonen som underlag for en sponplate, kryssfinerplate el.l. Ved å øke trykkstyrken for det øvre laget av gulvisolasjon, øker gulvets evne til å oppta konsentrerte laster. Man kan også bruke noe tynnere golvplate. Golvplatene bør helst kunne tåle noe fuktighet som kan forekomme i en anleggsperiode, ha not og fjær og limes i skjøtene.

På grunn av den store isolasjonstykkelsen, vil det av fukttekniske grunner strengt tatt ikke være nødvendig å bruke en plastfolie over isolasjonen. Denne kan allikevel ha en funksjon som en ekstra sikkerhet mot fukt fra undergrunnen og luftlekkasjer ved overgangen mellom fundamentet og veggen. Hvis gulvet utsettes for nedbør i en anleggsfase, er det en fordel at vannet relativt fritt kan renne ned pukklaget. Fremdriften og evt. behov for frostsikring vil derfor ha betydning for hvor langt man bør ferdigstille golvkonstruksjonen i anleggsperioden.

Den delen av isolasjonen som er eksponert mot det fri, kan være utført med et utvendig beskyttelsesbelegg eller med plater som festes til svillen, se fig. 5.2 a.

I telefarlig grunn med ekstremt dårlig bæreevne kan man bruke en kantforsterket betongplate for å fordele vegglastene over en større flate, se fig. 5.2 c. Betongplaten støpes ut i en operasjon. Konstruksjonen utføres forøvrig i prinsippet som vist på fig. 5.2 b. Isolasjonen legges over betongplaten og under svillen. For å sikre konstruksjonen mot telehiv, isoleres ringmuren utvendig i tillegg til en horisontal markisolasjon. På grunn av et stort forbruk av betong, vil denne konstruksjonen være vesentlig mer kostbar enn en lettere løsning.

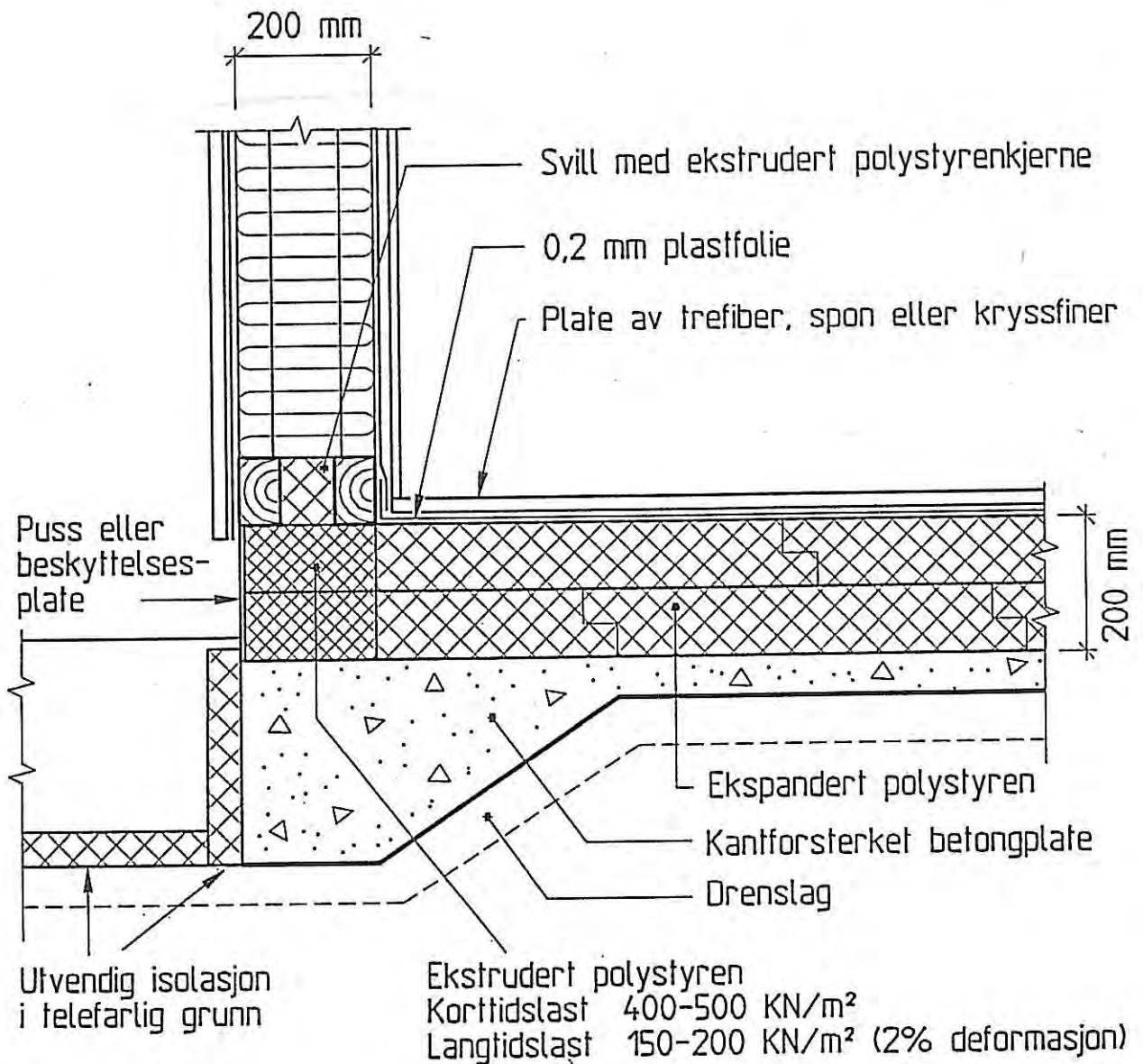


Fig. 5.2 c. I telefarlig undergrunn med dårlig bæreevne kan ringmuren erstattes av en kantforsterket betongplate

5.3 Gulv på grunnen og gulvvarme

Uansett hvor godt gulvet er isolert vil et gulv på grunnen normalt ha en overflatetemperatur som er lavere enn romlufttemperaturen. Med en meget godt isolert gulvkonstruksjon og stasjonær lufttemperatur, vil temperaturdifferansen være beskjeden. I rom med varierende lufttemperaturer, vil overflatetemperaturen på gulvet for en lett og godt isolert gulvkonstruksjon til en viss grad følge lufttemperaturen. Man vil normalt ikke ha problemer med lave gulvtemperaturer. Dette vil ikke være tilfellet hvis man har en tyngere varmetreg gulvkonstruksjon. Ubehaget i dette tilfellet med lave gulvtemperaturer for en varmetreg gulv på grunnen konstruksjon, kan til en viss grad kompenseres ved å

bruke et gulvteppe e.l. med lav varmeledningsevne. Lave gulvtemperaturer på grunn av for dårlig gulvisolasjon eller rom der man i perioder ønsker lavere lufttemperaturer f.eks. soverom, bør ikke løses med å bruke gulvvarme. Vi vil da få et nytt problem med et høyt energiforbruk. Bruk av gulvvarme forutsetter god gulvisolasjon og bør fortrinnsvis brukes i rom der man ønsker relativt stabile temperaturforhold.

Gulvvarme er godt egnet i baderom der man gjerne av komfortsyn ønsker høye gulvtemperaturer, samtidig som man har et relativt stasjonært varmebehov. I rom med hurtig skiftende varmebehov kan man lett få problemer med varmereguleringen av gulvvarmeanlegget noe som kan føre til økt energiforbruk. Bruker man gulvbelegg som fliser e.l., i vanlig oppholdsrom, vil ikke et gulvvarmeanlegg kunne løse komfortproblemene med kalde gulv. I disse tilfellene er det ikke uvanlig at man har drift på gulvvarmanlegget langt utover den normale fyringssesongen. Selv om man i utgangspunktet bruker lett konstruksjon som vist på fig. 5.2 a, er det relativt enkelt å støpe ut badegulvet separat hvis man ønsker å kombinere dette med gulvvarme.

Varme kan tilføres gulvet fra elektriske varmekabler eller ved å la varmt vann sirkulere i rør. For å få en god varmefordeling i gulvoverflaten bør rør eller kabler legges i godt varmeledende spesialmasser eller betong. Hvis det brukes betong, oppstår igjen problemet med stor varmetreghet og byggfukt. Begge forhold tilsier at betongdekket bør være så tynt som mulig.

Med samme isolasjonstykkelse vil en høyere gulvtemperatur uvegerlig føre til en tilsvarende økning i varmetapet mot undergrunnen. På grunn av varmemotstanden i et evt. gulvbelegg, vil betongdekkets temperatur vanligvis være høyere enn gulvets overflatetemperatur. Dette er særlig fremtredende når det brukes elektriske varmekabler og vil ytterligere øke varmetapet. I beregningsgrunnlaget for å bestemme nødvendig isolasjonstykkelse (ekvivalent U-verdi) for et gulv på grunnen, er det forutsatt en gulvtemperatur på ca. 18 °C. I det tilfellet man har gulvvarme, kan denne temperaturen godt kan bli det dobbelte. Denne økningen i varmetapet må kompenseres ved å øke gulvisolasjonen som vil inngå som en del av anleggskostnadene for gulvvarmeanlegget. For å holde varmetapet fra et gulv med gulvvarme innen akseptable grenser, f.eks. med en ekvivalent U-verdi på årsbasis på 0.15 - 0.2 W/m²K, betyr dette isolasjonstykkelser på ca. 200 mm.

I baderom med gulvvarme dimensjoneres gjerne anlegget så man kan holde en overflatetemperatur på 30 - 32 °C. Dette gir samtidig et betydelig varmetilskudd til rommet (100 - 120 W/m²) og høy lufttemperatur. For å redusere ventilasjonstapet fra

badet, som er utstyrt med luftavtrekk, er det viktig at man har en behovsstyrt ventilasjon og ikke trekker ut mer luft enn nødvendig. Man kan også installere et system for varmegjenvinning fra avtrekksluften.

I en bolig med relativt begrenset grunnflate vil varmestrømmen fra gulvet til undergrunnen være tredimensjonal. For å opprettholde et lavt varmetap fra et gulv med gulvvarme, vil dette kreve store isolasjonstykkelser. Hvis tilsvarende isolasjonstykkelser brukes i et gulv uten gulvvarme, vil man få betydelige energigevinster. Gulvvarme sett i en ressurs og energiøkonomisk sammenheng, vil derfor bare kunne forsvares ved at man kan bruke lavtemperaturvarme som man ellers har liten anvendelse for. Som en konklusjon vil vi en en lavenergibolig som tilføres elektrisk energi bare bruke gulvvarme i baderommet og da av komforthensyn.

5.4 TRYKKFAST ISOLASJON

Som ringmursisolasjon vil det være mest aktuelt å bruke en type ekstrudert polystyren. I tillegg til god trykkstyrke har denne isolasjonen en rekke andre fordeler som lav varmeledningsevne og gode fukttekniske egenskaper. Ved en kortidslast som gir en sammentrykning opp til 2 - 3 % er materialet relativt elastisk. Ved laster som gir større deformasjoner vil materialets plastiske egenskaper dominere, og man får en økt deformasjonshastighet. se fig. 5.4 a. En langtidslast bør derfor ligge betydelig under denne deformasjonsgrensen. Man pleier gjerne å definere en tillatt langtidslast for det aktuelle materialet ved at denne lasten gir en deformasjon etter 50 år på 2 %. Figur 5.4 a viser deformasjonskurver for kortidslast for forskjellige materialkvaliteter.

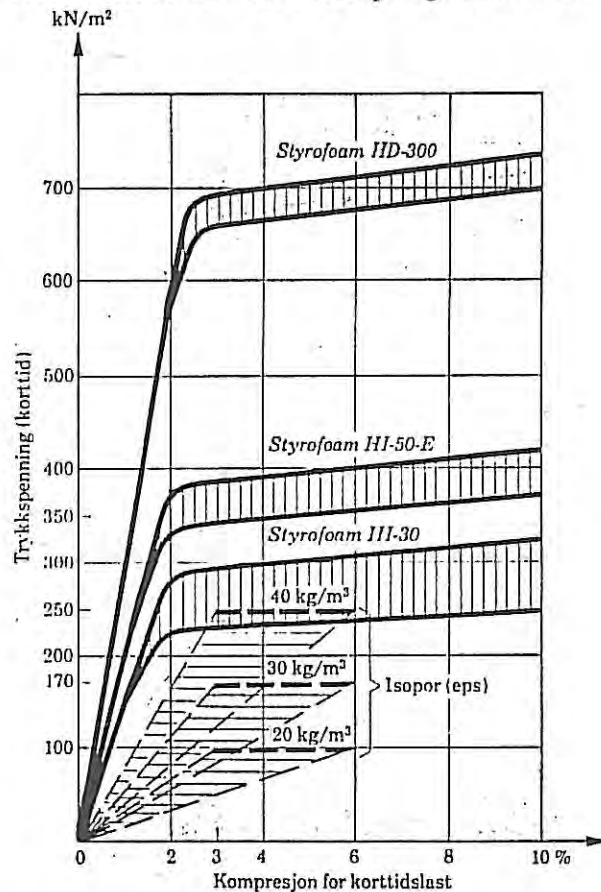


Fig. 5.4 a. Deformasjonskurver for ekspandert og ekstrudert polystyren under trykkforsøk med kortidslaster (Produktkatalog, Dow Norge A/S). I det skraverte området vil man ha en betydelig plastisk deformasjon som er tidsavhengig. Det fremgår at for ekspandert polystyren vil dette intrefte allerede ved meget små laster. Man bør derfor bruke ekstrudert polystyren under ringmurer.

Figur 5.4 b viser deformasjonen for langtidslast fremskrevet til 50 år. Det fremgår her at man har en relativt konstant og beskjeden kryphastighet ved små laster.

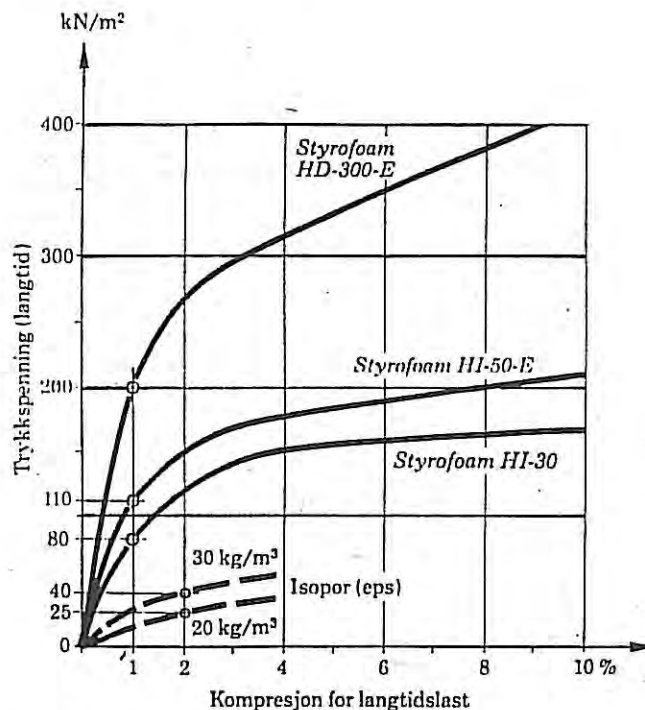


Fig. 5.4 b. Deformasjon av forskjellige kvaliteter ekstrudert polystyren utsatt for langtidslast etter ca. 50 år (Produktkatalog, Dow Norge A/S).

I motsetning til vanlig stål, som er et elastisk materiale der man ikke har noe kryp ved laster under en viss størrelse, vil man alltid ha noe kryp i ekstrudert polystyren selv ved små laster. Ekstrudert polystyren er derfor et mer plastisk materiale. Med utgangspunkt i materialenes oppgitte dimensjonerende langtidslaster, vil dette kryptet være uten praktisk betydning. Da datagrunnlaget for langtidstester for ekstrudert polystyren er relativt ufullstendig, vil imidlertid velge en isolasjonstype og flatebelastning som ligger godt under dimensjonerende langtidslaster for materialet.

Tabell 5.4 gir eksempel på tekniske data for et fabrikkat (Jackofoam) ekstrudert polystyren isolasjon med forskjellige egenskaper:

Tabell 5.4.

Karakteristiske data for en type ekstrudert polystyren (Jackofoam)

	Enhet	Jackofoam OX-32	Jackofoam OX-40	Jackofoam OX-50	Jackofoam OX-70
Trykkfasthet (10 %)	kN/m ²	300	400	500	700
Langtidslast (2 %)	kN/m ²	100	150	180	250
Varmeledningsevne i bygning	W/mK	0,030	0,030	0,030	0,030
Varmeledningsevne i grunnen	W/mK	0,033	0,033	0,033	0,033

5.5 DIMENSJONERENDE LAST PÅ RINGMUREN

I lavenergihuset er forutsatt et bæresystem hvor taklastene føres ned i ytterveggene, enten ved sperretak eller takstoler, og at lasten fra etasjeskilleren fordeles på yttervegger og en innvendig bærevegg.

Egenlasten og nyttefasten er langtidslaster. Nyttelasten er i praksis langt lavere enn den beregnede. Snølasten er stedsavhengig, oftest i området 1.5 kN/m^2 til 3.5 kN/m^2 .

Oppstillingen nedenfor er basert på snølast 2.5 kN/m^2 . Denne snølasten har en returperiode på 5 år. Formfaktoren ved 42° takfall (referanseboligen) er 0.72.

LASTER	YTTERVEGG	INNERVEGG
Egenlast		
• Tak (takstein) $1,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 6,3 \text{ m}$	6,30 kN/m	
• Etasjeskiller $0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,0 \text{ m (4,0 m)}$	1,00 kN/m	2,00 kN/m
• Vegg $0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,5 \text{ m}$	1,25 kN/m	1,25 kN/m
Sum egenlast	8,55 kN/m	3,25 kN/m
Nyttelast $1,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,0 \text{ m (4,0 m)}$	3,00 kN/m	6,00 kN/m
Snølast $0,72 \cdot 2,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,7 \text{ m}$	8,45 kN/m	
Totallast (maks)	20,00 kN/m	9,25 kN/m

Som vist på fig. 5.2 a, er det forutsatt at lastene skal overføres fra svillen via en trykksterk polystyrenisolasjon til ringmuren. Siden det er isolasjonens deformasjon ved langtidslast som er avgjørende, og som her skal vurderes, regnes her bruksgrensetilstand med lastkoeffisient 1.0. Som en midlere totallast for bestemmelse av deformasjoner etter 50 år, kan derfor ca 15 kN/m være en brukbar verdi. Det må da avklares hvilken type isolasjon som kan brukes og detaljer i utførelsen. Det er i denne sammenhengen foretatt visse orienterende laboratorieundersøkelser.

5.6 ORIENTERENDE LABORATORIEMÅLINGER

Figur 5.6 a og b viser måleoppstillingen ved linje- og punktlastmålinger. Det er brukt to typer isolasjonsmaterialer Jackofoam OX-40 og OX-50 med en tillatt langtidslast ved 2 % deformasjon etter 50 år på 150 henholdsvis 180 kN/m^2 . Det vil senere bli foretatt tilsvarende målinger med isolasjonsmaterialet OX-70 som har en tillatt langtidslast på hele 250 kN/m^2 .

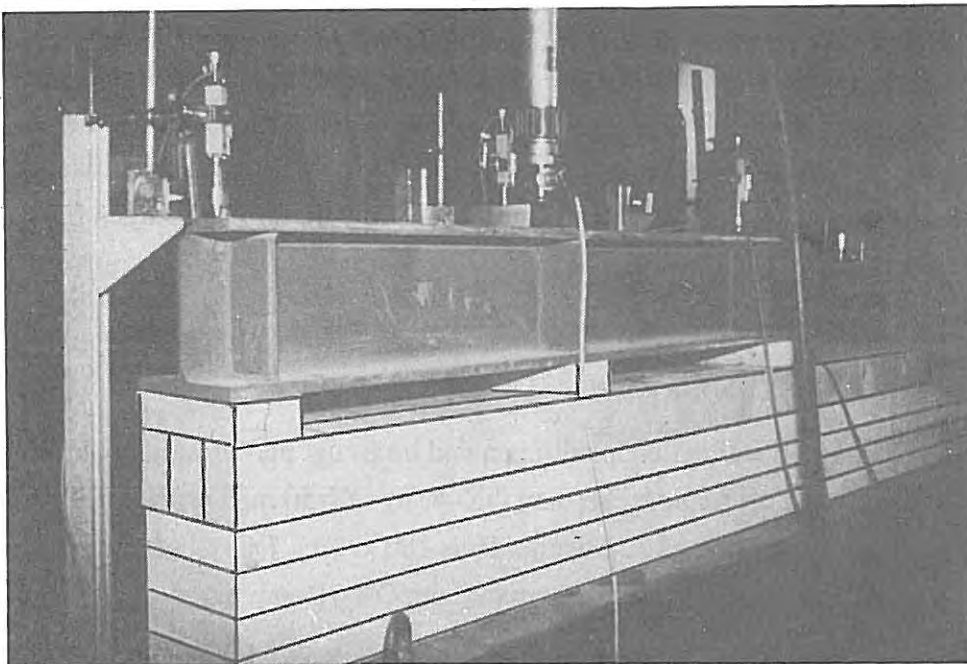
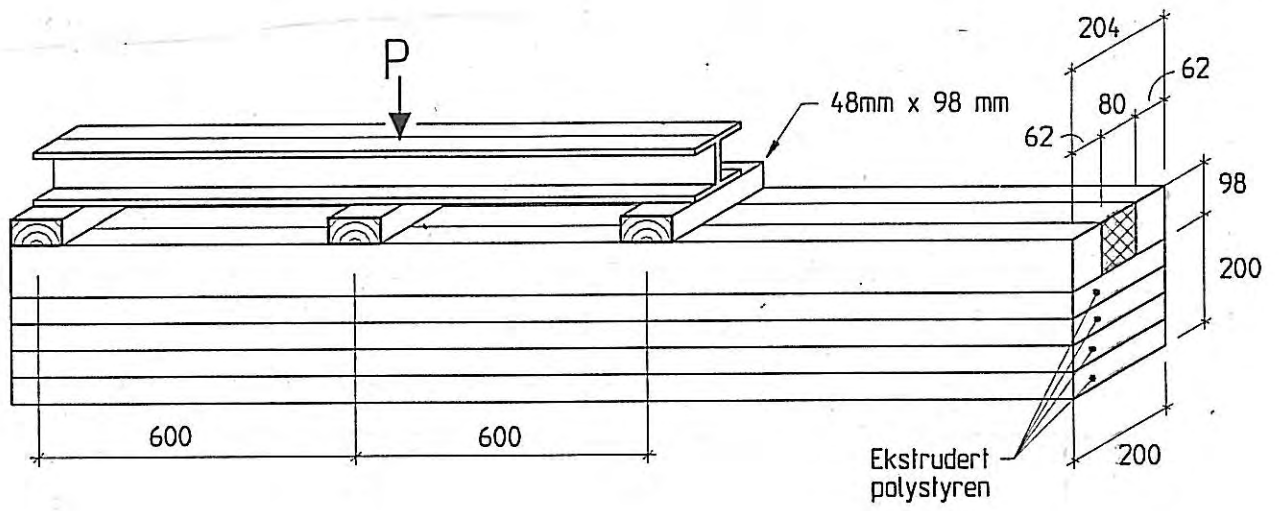


Fig. 5.6 a. Måleoppstillingen ved linjelast

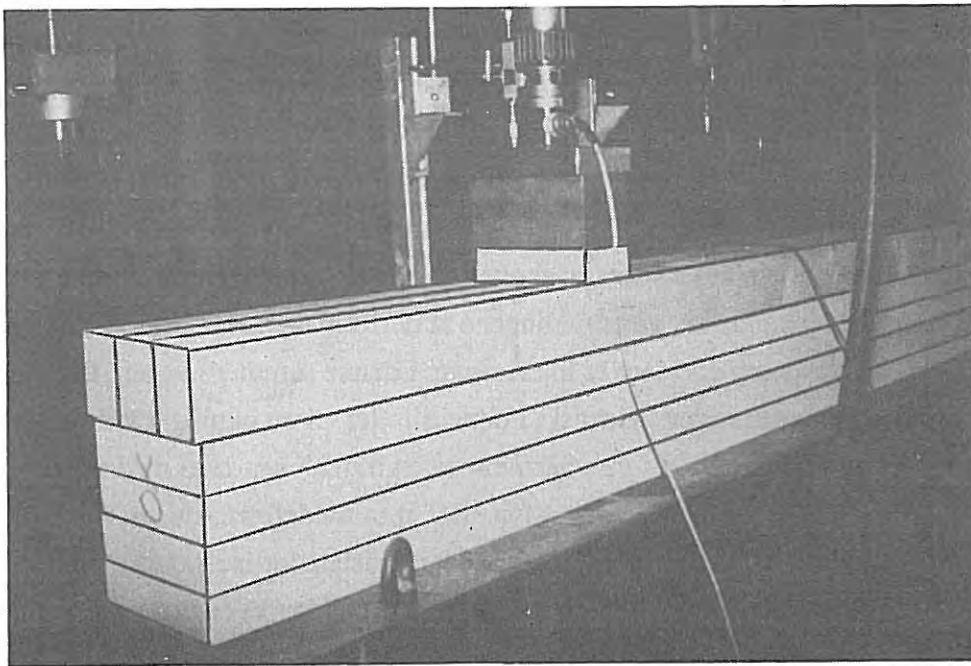
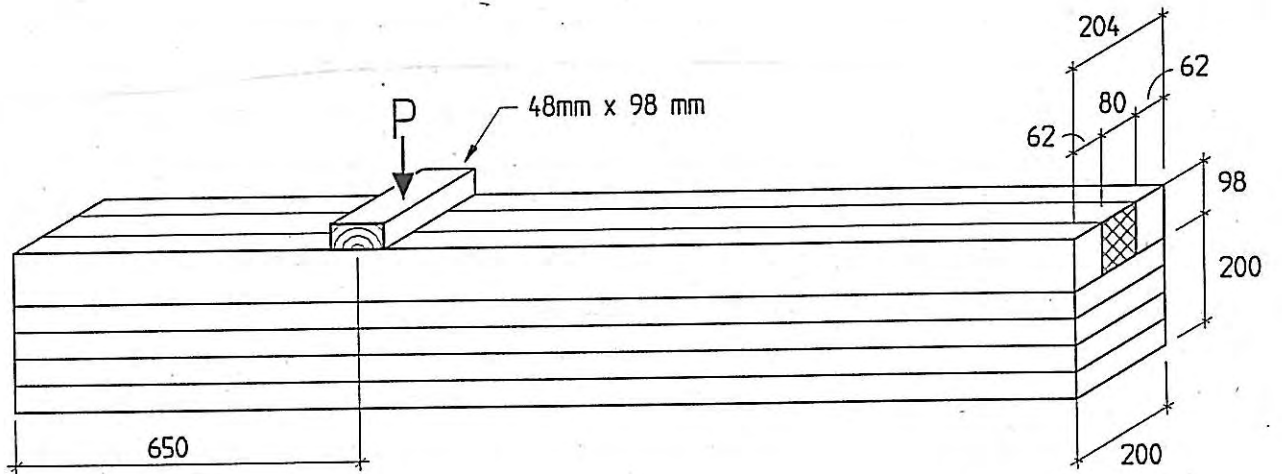


Fig 5.6 b. Måleoppstillingen ved punktlastmålinger

Isolasjonsplatene er levert i tykkelser på 50 mm. For isolasjonsmaterialet OX-40 er foretatt en justering av tykkelsen ved hjelp av en spesiell freseoperasjon. Total tykkelse på isolasjonslaget under svillen er 200 mm, se fig. 5.6 a. Det er forutsatt en veggtykkelse på 200 mm, og det er brukt en spesialsvill med en ekstrudert polystyrenkjerne i materialet OX-40. Svillen har en høyde på 100 mm og en aktiv lastflate mot isolasjonen på 0.115 m^2 pr. meter. Dette betyr en maksimal tillatt jevnt fordelt linjelast for isolasjonsmaterialet OX-40 på 17.3 kN/m og tilsvarende for materialet OX-50 på 20.7 kN/m . Isolasjonsmaterialet OX-70 vil kunne tåle en jevnt fordelt linjelast på 28.8 kN/m .

Hvis man legger en dimensjonerende jevnt fordelt linjelast på ca. 15 kN/m til grunn for dimensjoneringen, vil man for den aktuelle boligen kunne bruke isolasjonsmaterialet OX-40 som ringmursisolasjon. Dette forutsetter at det brukes platekledning på veggen slik at man får en tilnærmet jevnt fordelt lastoverføring til svillen. Det er også nødvendig å undersøke forholdene ved punktlaster på svillen. For den aktuelle referanseboligen med relativt små vinduer vil disse punktlaster være relativt beskjedne. Det er nettopp med henblikk på å oppnå en god fordeling av punktlaster at det er foreslått brukt en spesialsvill med kuldebryter og høyde 100 mm.

5.6.1 Linjelaster

Figur 5.6.1 a viser deformasjonen ved det ytre hjørne der deformasjonen var størst. Målingene viser at initialdeformasjonen ved små laster er relativt stor. Dette skyldes ujevnheter for svill og isolasjon som må elimineres før man får en jevn kontakt mellom svillen og isolasjonen. På grunn av isolasjonsmaterialets plastiske egenskaper får man en god vindtetting mellom svill og isolasjon. Initialdeformasjonen vil være kompensert ved boligens egenvekt og er av en slik størrelse (2 - 3 mm) at denne ikke skaper konstruktive problemer. De relativt store initialdeformasjonene kan unngås ved å forspenne svillen til ringmuren ved hjelp av ekspansjonsbolter. Når man har oppnådd en direkte flatekontakt mellom svill og isolasjon, viser målingene at deformasjonen er nær lineær med linjelasten i de belastningsområdene som er interessante i denne sammenheng. Dette betyr at deformasjonen er tilnærmet elastisk. I dette tilfellet vil en økning av linjelasten på 9.1 kN/m øke deformasjon i ytre hjørne med en mm. Vi ser da at med en dimensjonerende linjelast på 15 kN/m , vil reell deformasjon etter at initialdeformasjonen er eliminert ligge på 1.6 mm eller 0.8% . Ved dimensjonerende langtidslast for isolasjonsmaterialet OX-40 som i dette tilfellet svarer til en linjelast på ca. 17.3 kN/m har vi en deformasjon på ca. 1.9 mm eller ca. 1.0% . Midt under bjelken er deformasjonen ca. 30% mindre enn under ytre kant. En dimensjonerende linjelast på 15 kN/m vil her gi en deformasjon på ca. 1.2 mm eller 0.6% .

Isolasjon under svill

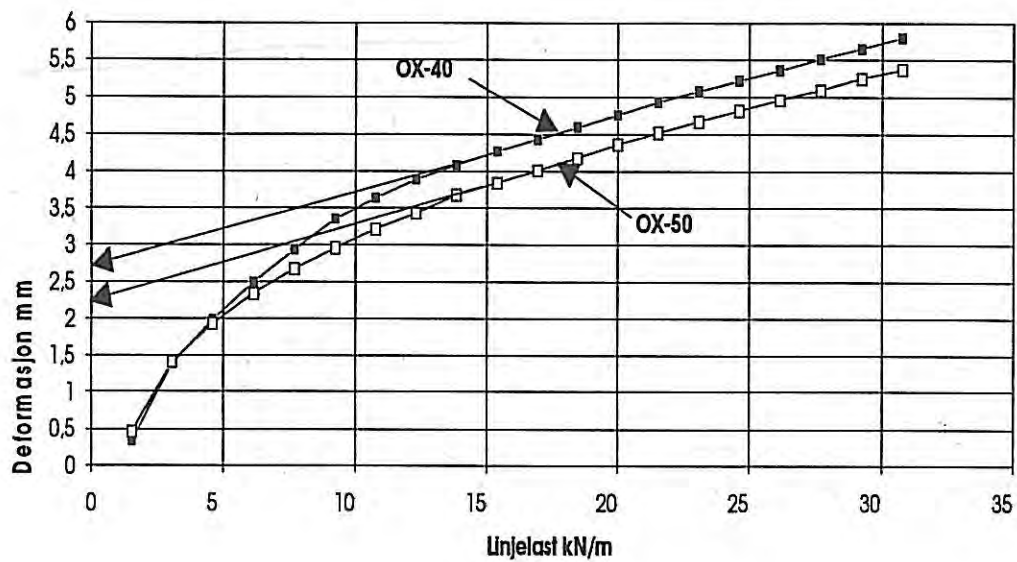
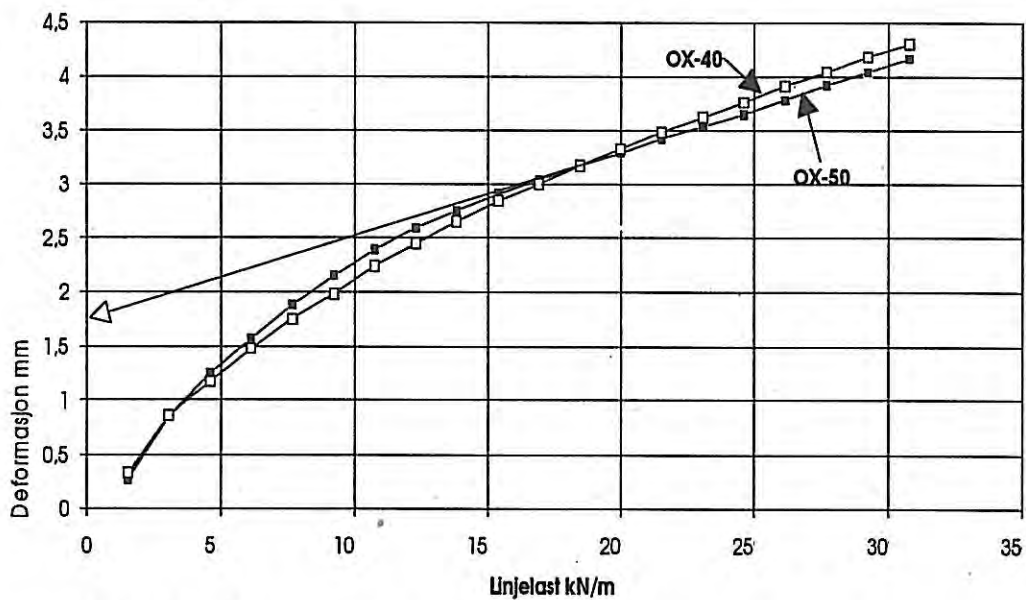


Fig. 5.6.1 a. Deformasjon av isolasjonen under svillen som funksjon av linjelasten ved ytre hjørne der man hadde størst deformasjon

Isolasjon under svill



Figur 5.6.1 b viser deformasjonen midt under bjelken.

5.6.2 Punktlaster

Dimensjonerende punktlaster fra veggen eller evt. søyler vil være konstruksjonsavhengig og må bestemmes i hvert tilfelle. Hvis man har en stenderavstand på 0.6 til 1.2 m og ser bort fra veggens skivevirkning, vil dimensjonerende punktlaster fra stenderne ligge

mellom 9 til 13.5 kN. Nyttelast og egenvekt vil tilsvarende gi en maksimal punktlast fra stenderne på ca. 100 kN.

Måleoppstillingen ved punktlastmålinger er vist på fig. 5.6 b. Figur 5.6.2 a viser deformasjonen for isolasjonsmateriale OX-40 og OX-50. Det fremgår her at isolasjonsmaterialet OX-50 har en mer ujevn overflate i forhold til den justerte OX-40. Da svillen er relativt stiv, kreves det relativt store punktlaster for å få full flatekontakt mellom isolasjon og svill. Det fremgår at deformasjonen for begge materialer når initialdeformasjonen er eliminert, ligger på 1.0 mm eller 0.5 % for en lastøkning på 10 kN. Dette gir en maksimal deformasjon på 1.3 mm ved en punktlast på ca 13.5 kN.

Når disse deformasjonene sammenlignes med tilsvarende for linjelasten, viser dette at den valgte svillen har tilstrekkelig stivhet til å fordele punktlaster over en større flate så man unngår uheldige lokale deformasjoner. Ved deformasjoner på ca. 2.5 % begynner isolasjonsmaterialene plastiske egenskaper å gjøre seg mer gjeldene. I dette tilfellet inntreffer dette ved punktlaster på ca. 25 kN. Dette betyr at hvis man får ned større punktlaster på svillen, bør man bruke mer trykkfast isolasjon eller forsterke svillen. Man kan også føre punktlasten mer direkte ned i ringmuren ved f.eks. å erstatte deler av ringmursisolasjonen med en blokk i lettklinker materialer.

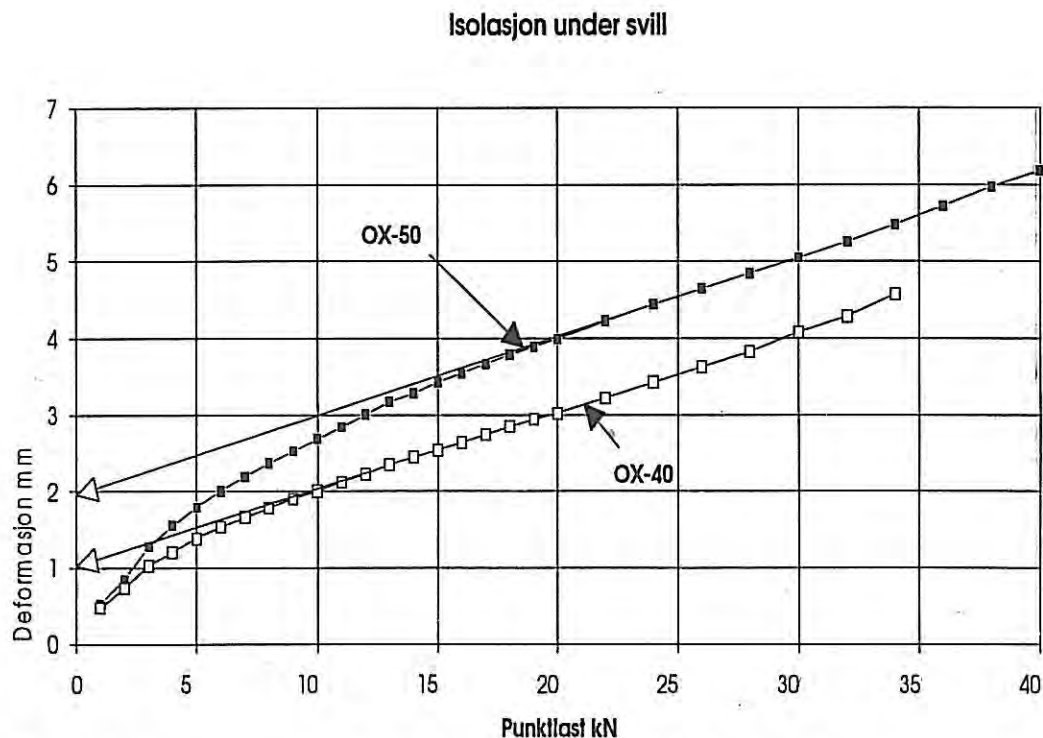


Fig. 5.6.2 b. Deformasjon på grunn av punktlast midt på bjelken.

5.6.3 Oppsummering

I dette tilfellet der det er brukt en total høyde på ringmursisolasjonen på 200 mm vil man ha en initialdeformasjon på 2 - 3 mm ved relativt beskjedne laster. Denne initialdeformasjonene kan unngås ved at man forspenner svillen mot ringmuren f.eks. ved hjelp av ekspansjonsbolter. Man har da en enkel måte å foreta en justering av svillen før bygging som samtidig tjener som en forankring av svillen mot ringmuren.

De deformasjonene man senere vil få på grunn av egenvekt og nyttelast, vil ligge på 1 - 2 mm. Dynamiske laster på grunn av snø vil bare gi beskjedne tilleggsdeformasjoner. Dimensjonerende snølaste eller laster på grunn av vind er av relativt kort varighet og vil derfor ikke gi varige deformasjoner av betydning. Da veggen på grunn av vindavstivning som regel alltid vil være kledd med plater på minst en side, vil man alltid få en fordeling av punktlaster ved vinduer som forhindrer lokalt store deformasjoner på grunn av korttidslaster. Ved større punktlaster (langtidslaster) på grunn av utvekslingsdragere el.l., bør laster fra disse overføres mer direkte til ringmuren.

Hvis det skal bygges boliger der det skal overføres større linjelaster til ringmuren, kan man bruke en mer trykkfast isolasjon av typen OX-70 som har ca. 40 % høyere langtidstrykkstyrke enn materialet OX-50.

5.7 FULLSKALA UTPRØVING AV EN LETT GULVKONSTRUKSJON

Det vil bli bygget en prototyp gulvkonstruksjon der det særlig er to forhold som det er viktig å få prøvd i praksis.

1. *Trykkfast isolasjon som underlag for ringmurssvillen*
2. *Lett gulvkonstruksjon uten betong*

Baderomsgulvet vil som vanlig bli støpt hvis det skal anlegges gulvvarme. Det er i første omgang planlagt å bruke en tradisjonell 150 mm tykk veggkonstruksjon. For å få en tilfredstillende trykkfordeling mot ringmursisolasjonen, vil hele svillens bredde (148 mm) bli benyttet som trykkflate. Detaljer i utførelsen er vist på fig. 5.7 a, b og c.

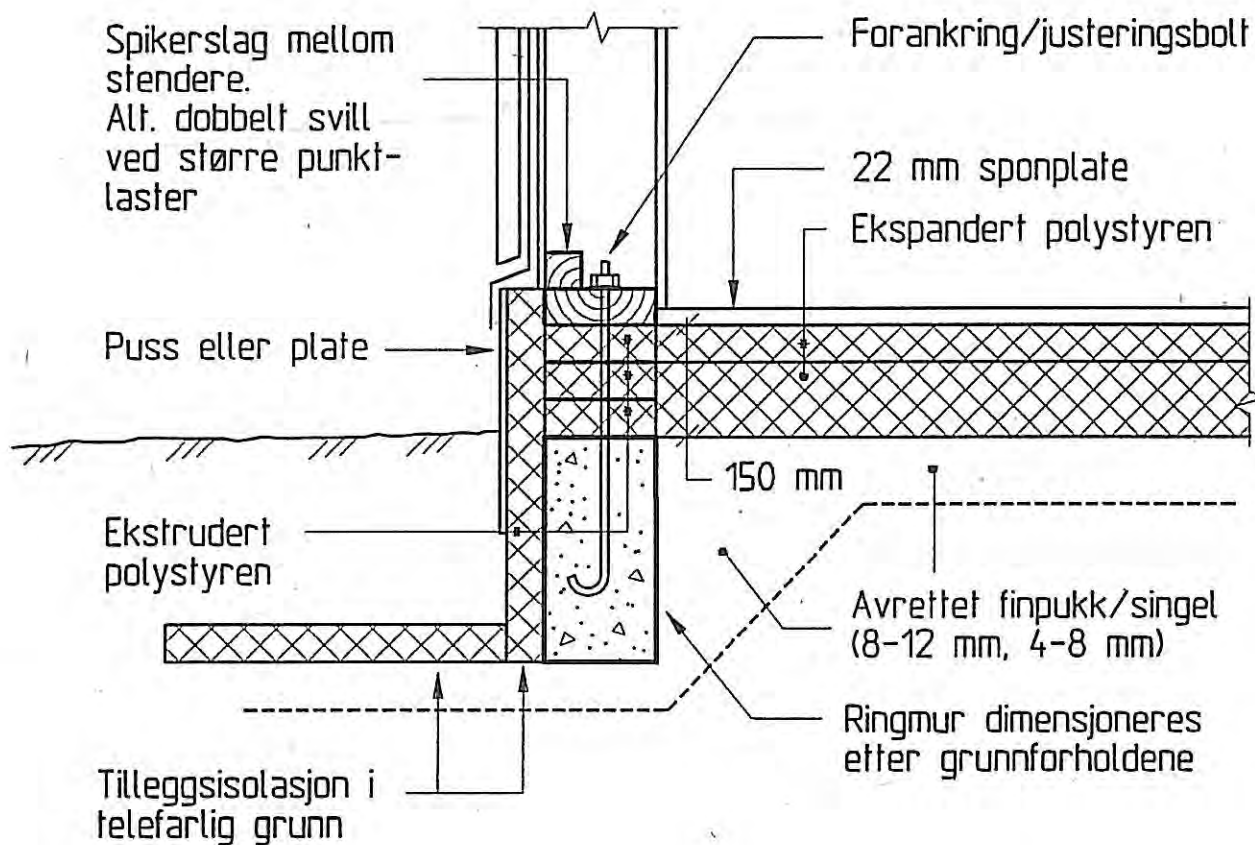
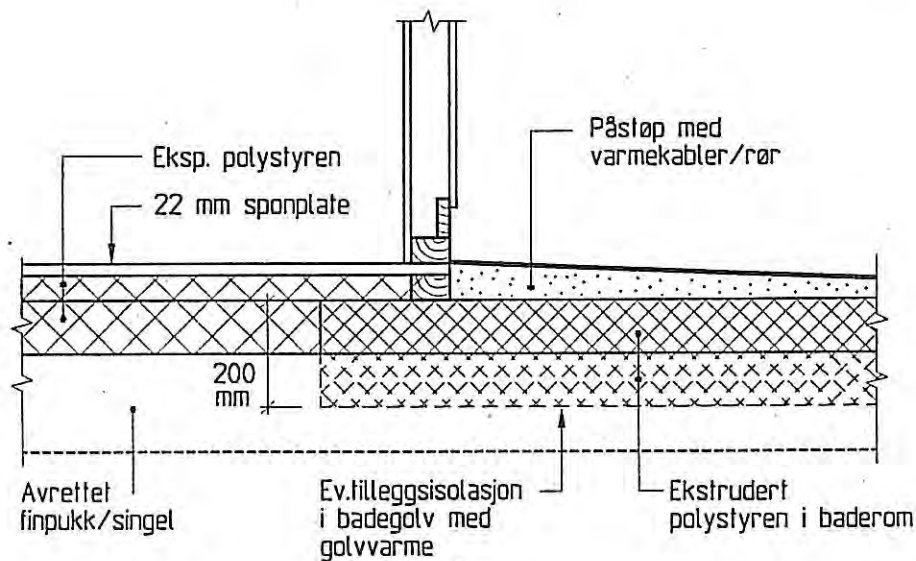
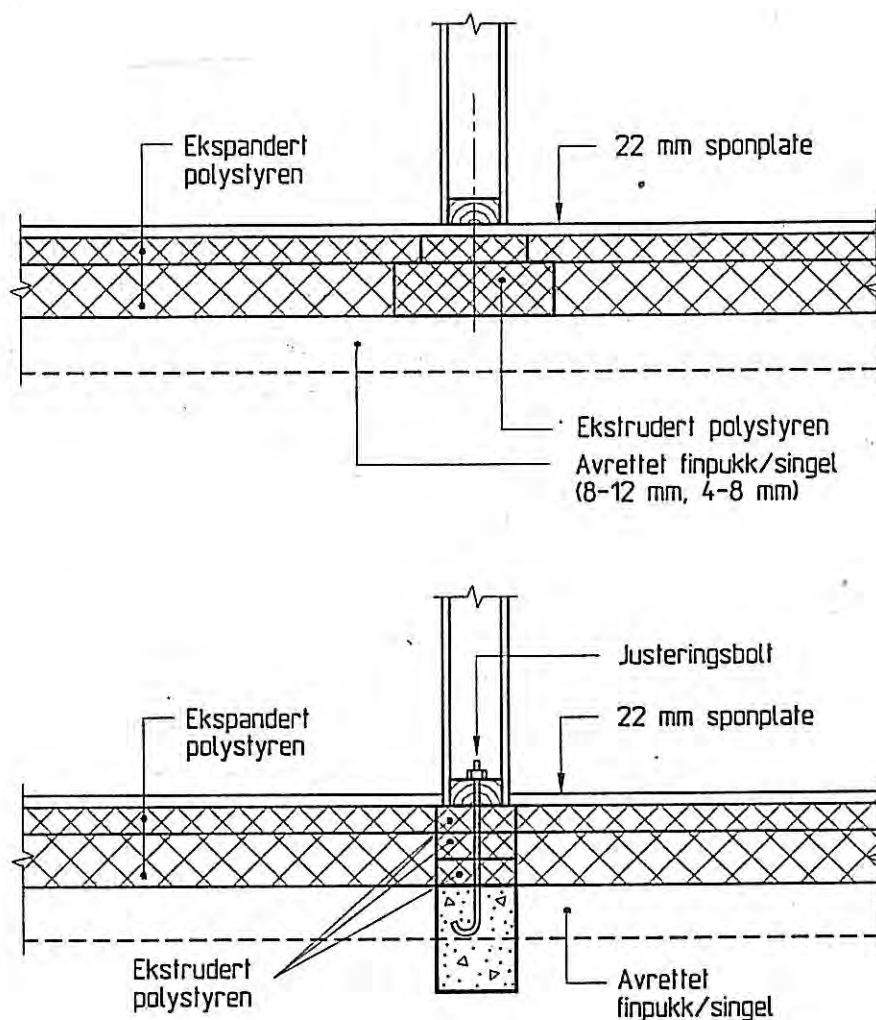


Fig. 5.7 a. Gulv på grunnen. Lett gulvkonstruksjon uten kuldebroer.



5.7 b. Detaljer i tilknytning til betonggulv i baderom med gulvvarme



5.7 c. Alternative måter å fundamentere en intern bærevegg avhengig av lasten.

Det er særlig utvendig ringmur som det er viktig å unngå kuldebroer. Fundamentet for innvendige bærevegger vil være mindre utsatt for kuldebroer. Disse kan i prinsippet utføres som den utvendige ringmuren. Dette vil være noe avhengig av de laster som skal overføres. For mindre boliger f.eks. i 1 1/2 etasje er det en fordel å la taklastene overføres til ringmuren, og at innvendig bærevegger bare overfører laster fra etasjeskilleren. Dette vil være beskjedne laster. Under den innvendige bæreveggen brukes ekstrudert polystyren av samme kvalitet som under ytterveggen, se fig. 5.7 c. Sponplateguløvet legges når huset er under tak.

Det er utført orienterende laboratorieundersøkelser for å undersøke forholdene når det skal brukes en konvensjonell svill på 48 · 148 mm direkte på ringmurisolasjonen.

5.7.1 Linjelast

Figur 5.7.1 a viser forsøksoppstillingen. Svillen er lagt forskjøvet på isolasjonen for å undersøke om man det oppstår noen skalaeffekter. Det ble foretatt to lastvekslinger for hver måling med linjebelastning. Da svillen i dette tilfellet er langt mindre stiv, er det også undersøkt deformasjonen mellom lastpunktene.

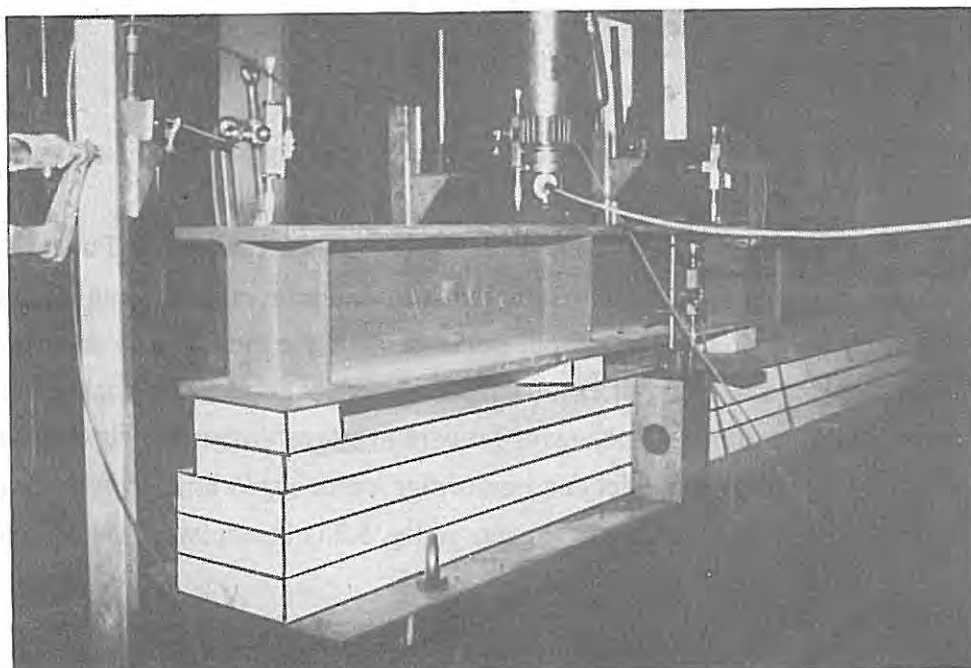
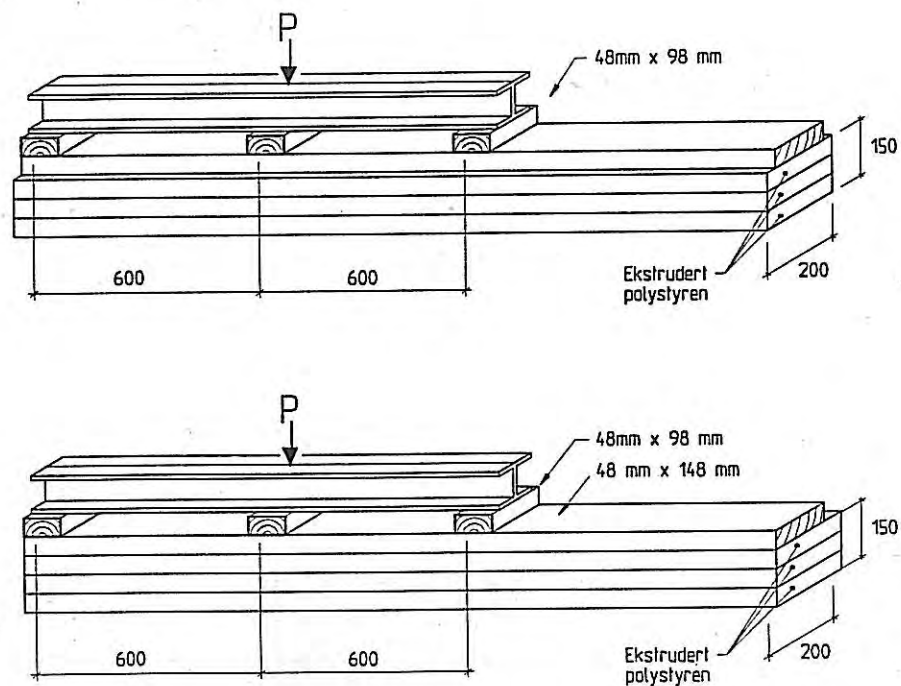


Fig. 5.7.1 a. Forsøksoppstillingen ved linjelaster

Figur 5.7.1 b og c viser deformasjonen midt under bjelken og ved ytre rand.

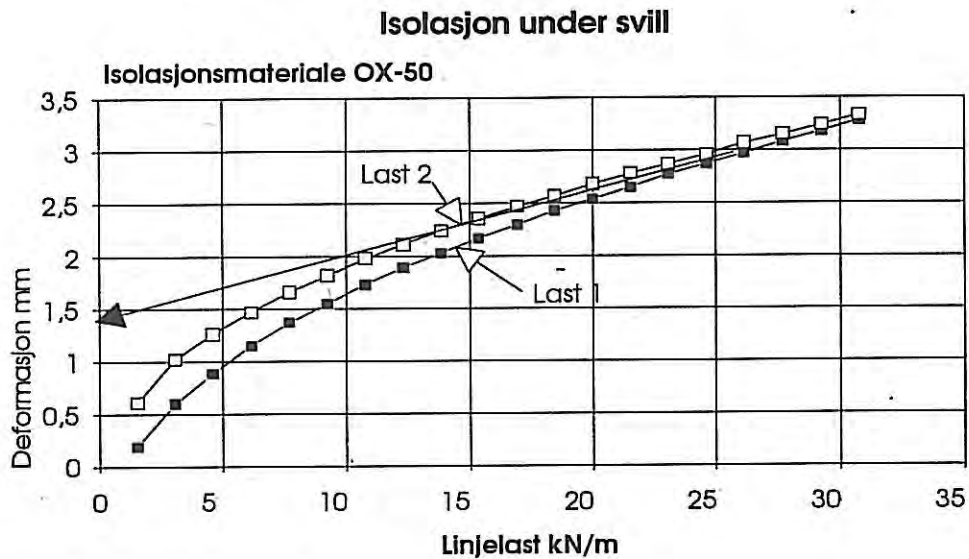


Fig. 5.7.1 b. Deformasjon midt under bjelken.

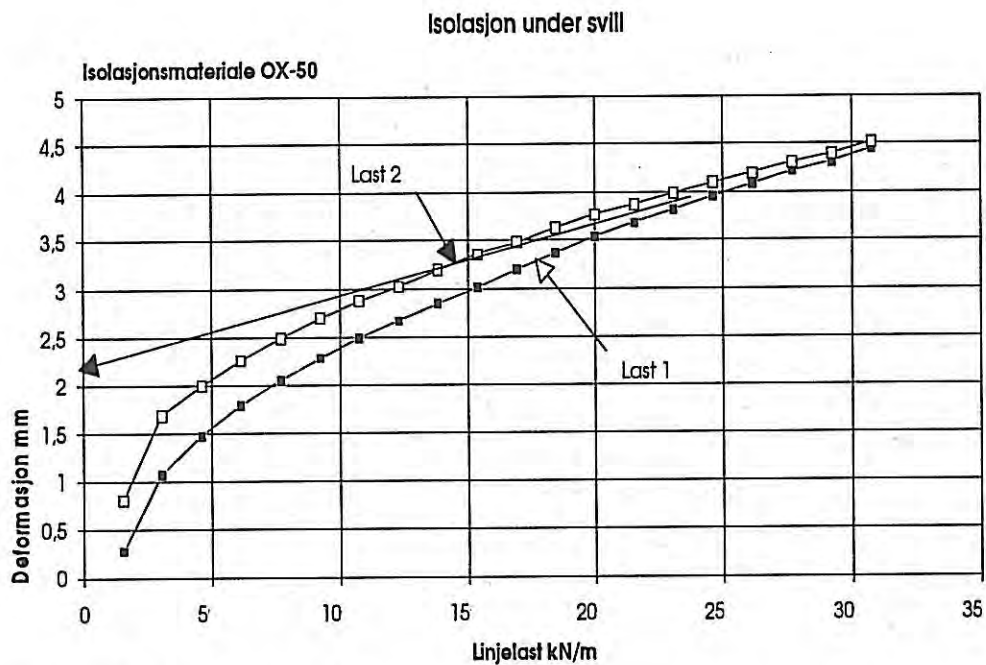


Fig. 5.7.1.c. Deformasjon under ytre kant

I dette tilfellet vil man midt under bjelken ha en deformasjonsøkning på 0.65 mm når initialdeformasjonen er eliminert og linjelasten økes med 10 kN. Da høyden på isolasjonen er 150 mm gir dette en deformasjonsøkning på ca. 0.4 %.

Deformasjonsøkningen ved randen er ca. 15 % større enn midt under bjelken. Det forhold

at vi i dette tilfellet har noe mindre deformasjonsøkning skyldes det forhold at lastflaten er noe større, ca. 0.148 m^2 pr. meter.

Målinger viser at innen det lastområdet som er undersøkt, har det liten innflytelse om isolasjonen ligger på kanten eller lengere inne på isolasjonen.

5.7.2 Punktlast

Figur 5.7.2.a viser forsøksoppstillingen ved målinger av deformasjonen ved punktlaster. I dette tilfellet med relativt tynn svill (48 mm) vil man få noe dårligere lastfordeling ved punktlaster.

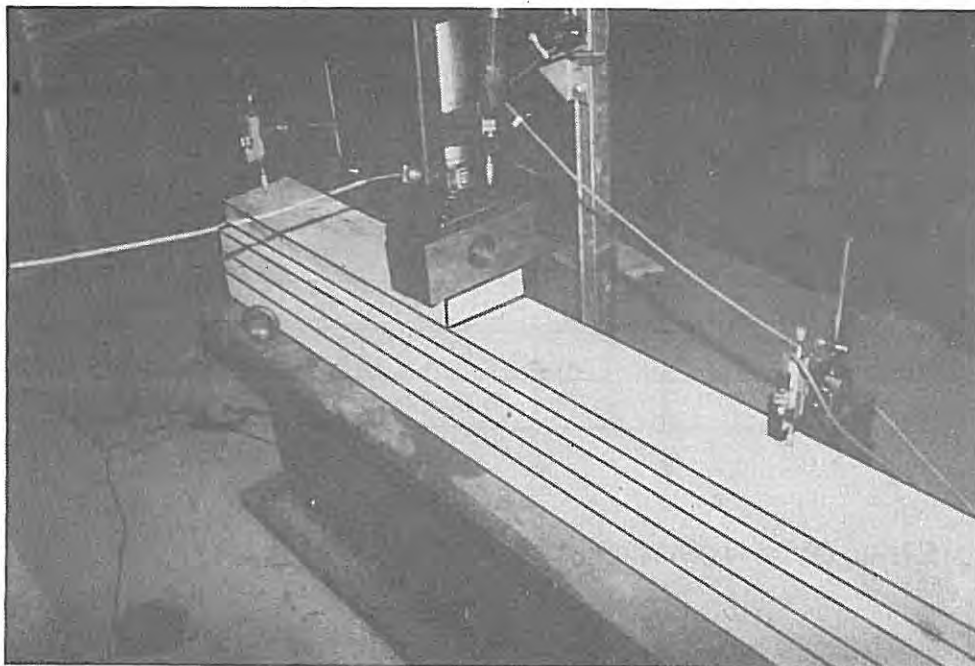


Fig. 5.7.2.a. Forsøksoppstillingen ved punktlastmålinger

Figur 5.7.2.b viser deformasjonen under en punktlast 650 mm fra kanten etter at bjelken er fjernet.

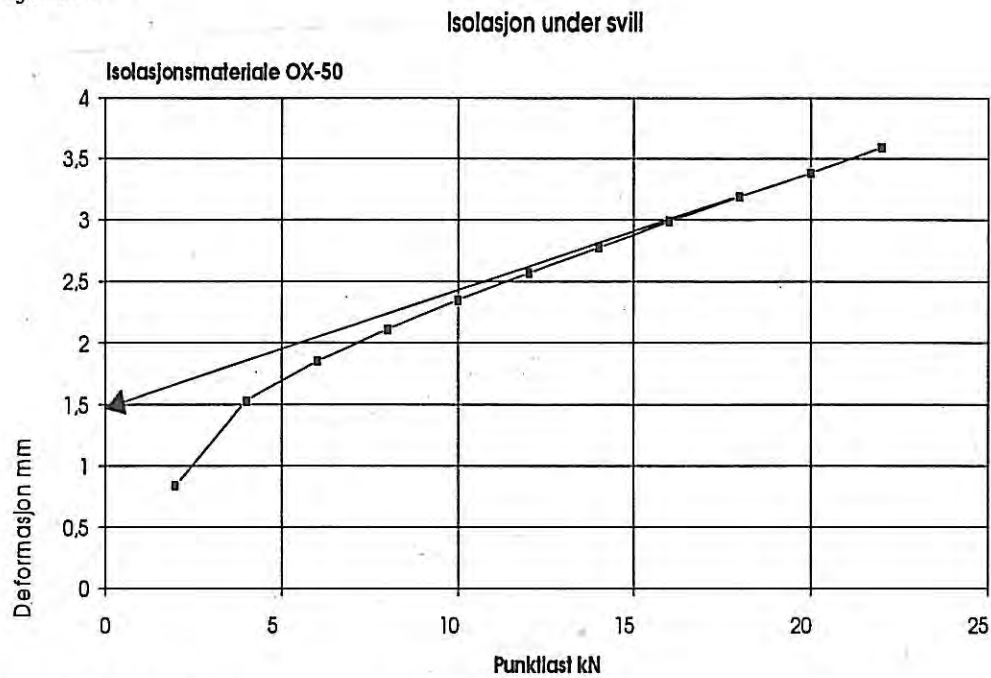


Fig. 5.7.2 b. Punktlast på svill. 650 mm fra ytre kant.

Det fremgår her at deformasjonen opp mot dimensjonerende punktlaster (13.5 kN) vil ha samme absolutte deformasjon på ca. 1.3 mm som når det ble brukt en tykkere svill. Da isolasjonstykkelsen er 150 mm vil dette gi en deformasjonøkning på ca. 2 % ved å bruke bredere, men tynnere svill. Denne deformasjonen bør ligge innenfor akseptable grenser, men for større laster bør svillen forsterkes eller brukes mer trykkfast isolasjon. Ved store punktlaster bør denne føres mer direkte ned på ringmuren.

6 ENERGI OG EFFEKTBREGNINGER, RAMMEBETINGELSER

6.1 ENERGIRAMMER

Det er utført energi- og effektsimuleringer og parameterstudier for å komme frem til rammebetingelser som må legges til grunn for en energi- og kostnadseffektiv utførelse. Skal man oppnå lavenergi, vil bruk av kjente løsninger på flere områder føre til uforholdsmessig høye tilleggskostnader som vanskelig kan forsvares hvis man legger ensidig energireduksjonen til grunn for kostnadsvurderingene. Dette er imidlertid ikke et helt rettferdig sammenligningsgrunnlag idet det i lavenergikonseptet er innebygd en meget høy standard når det gjelder innemiljøet. Dette går på luftkvalitet, komfort, støynivå etc.

Konseptutviklingen er basert på en kombinasjon kjent teknologi samtidig som det påpekes behovet for mer kostnadseffektive løsninger på flere områder. Dette gjør det nødvendig å utvikle og ta i bruk nye produkter og konstruksjoner. Dette vil i prinsippet omfatte de fleste delkonstruksjonene, og i en tidlig utviklingsfase blir det vanskelig å fastlegge entydige U-verdikrav. Innføring av nye og fortrinnsvis kostnadseffektive konstruksjoner vil kunne påvirke grensekostnadene for hvor langt ned i U-verdi det er økonomisk riktig å gå for de forskjellige delkonstruksjonene. Dette vil bli endelig fastlagt senere i prosjektet. Nye deløsninger vil bli utprøvet i fullskala forsøksbygging og vi får et mer realistisk kostnadsbilde.

Ut fra den kunnskap vi i dag har til byggekostnader (1) og (2) når det gjelder bygningstekniske konstruksjoner, har vi et godt grunnlag for å fastlegge sannsynlige rammer for delkonstruksjonenes U-verdier.

6.2 ENERGI- OG EFFEKTBREGNINGER

Vi har tatt utgangspunkt i referanseboligen fig 2.8 med grunnflate 84 m² og en effektiv total boligflate på 131 m². Beregningene er utført etter NS 3031, og det er brukt Oslo-Blindern som klimareferanse. Det er utført beregninger for referanseboligen etter gjeldende byggeforskrifter, etter dagens normale utførelse som er noe bedre varmeisolert enn forskriftskravet, og for en lavenergibolig.

6.2.1 Energi- og effektberegninger etter gjeldende byggeforskrifter

Tabell 6.2.1 a viser energi- og effektberegninger for referanseboligen etter gjeldende byggeforskrifter. Det er forutsatt en mekanisk avtrekksventilasjon.

Tabell 6.2.1 a. Effekt- og energibehov for referanseboligen etter gjeldende byggeforskrifter

INPUT DATA BRUKT I ENERGI- OG ENERGIBEREGNINGEN

Innetemperatur: 22

Bygningsdel	Areal m ²	U-verdi W/(m ² *K)
Vegg	122.00	0.30
Tak	97.44	0.20
Gulv	83.80	0.30
Vindu	19.60	2.40
Dør	3.60	2.00

Orientering:	Solfaktor	Skjerming	
		Juni	Des
Glass, nord	0	0.60	0.90
Glass, øst	3.00	0.80	0.60
Glass, syd	2.28	0.90	0.70
Glass, vest	10.20	0.80	0.60
	4.12		

Bygningens volum i m³ : 316.0
 Totalt gulvareal i m² : 83.8

Infiltrasjon, luftveksling 1/h= 0.15

Ventilasjon	Driftstid		Uteluftmengde	Virkningsgrad	System
	Timer	Døgn	m ³ /h	%	m
Full:	24	7	158	0	m

Internvarme	Driftstid		Last
	Timer	Døgn	W/m ²
Belysning:	24	7	3.0
Personer :	24	7	1.4
Utstyr :	24	7	2.7

Klimadata (sol og utetemperaturer) for stedet: Oslo-Blindern

Soldata (W/m ²):												
Måned:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Syd :	37	79	128	133	140	126	123	135	113	75	28	24
Vest :	8	25	61	91	124	128	117	102	64	31	8	4
Nord :	4	11	22	36	55	70	59	42	27	15	5	3
Øst :	8	25	61	91	124	128	117	102	64	31	8	4

Uttemp: -4.7 -4.0 -0.5 4.8 10.7 14.7 17.3 15.9 11.3 5.9 1.1 -2.0

Dim.utetemp.: -20.0

B E R E G N E D E D A T A I kWh

Varmetap	Måned	Transv	Infiltr.v	Ventil.v	F-faktor
	1	2691	330	1099	1.00
	2	2367	290	966	1.00
	3	2268	278	926	1.00
	4	1678	205	685	1.00
	5	1139	139	465	1.00
	6	712	87	291	1.00
	7	474	58	193	1.00
	8	615	75	251	1.00
	9	1044	128	426	1.00
	10	1623	199	662	1.00
	11	2039	250	832	1.00
	12	2419	296	987	1.00
	Sum	19067	2335	7783	

Varme-tilskudd	Måned	Belysning	Utstyr	Personer	Solstråling
	1	262	168	96	164
	2	237	152	87	354
	3	187	168	87	720
	4	181	163	84	828
	5	112	168	74	1007
	6	109	163	72	942
	7	112	168	74	915
	8	112	168	74	898
	9	181	163	84	646
	10	187	168	87	394
	11	253	163	93	127
	12	262	168	96	98
	Sum	2195	1982	1010	7093

Totalt	Måned	Varmetap	Utnyt.g	Varmetil.	Varmebehov
	1	4119	1.00	690	3431
	2	3623	1.00	830	2794
	3	3471	1.00	1163	2309
	4	2568	0.98	1257	1337
	5	1743	0.88	1362	539
	6	1090	0.72	1285	166
	7	725	0.54	1270	46
	8	941	0.66	1253	111
	9	1597	0.93	1074	602
	10	2484	1.00	837	1648
	11	3120	1.00	636	2486
	12	3703	1.00	624	3081
	Sum	29185	0.87	12280	18549

Totalt varmebehov	1 kWh/m ²	221.4	1 kJ/m ²	796.9
Totalt energiforbruk uten tillegg		271.2		976.3

Totalt energibehov $271.2 \cdot 83.8 = 22726.6$ kWh
Energiforbruk til varmt vann 3500.0 "
SUM 26226.6 kWh

Totalt energiforbruk pr. m² boflate:

$26226.6 / 131 \approx 200$ kWh/m²/år

OVERSIKT OVER EFFEKTBEHOV

	W	W/m ²
Varmegjennomgang	5419	64.66
Infiltrasjon	664	7.92
Ventilasjon	2212	26.40
Belysning	352	4.20
Utstyr	226	2.70
Totalt oppvarming	8294	98.98
<u>Totalt (+lys & utst.)</u>	<u>8873</u>	<u>105.88</u>

Tabell 6.2.1 b

Fordeling av energibehovet. Etter gjeldende byggeforskrifter.

Energibehov	kWh	Samlet varmebehov kWh
Transmisjon	8436	
Ventilasjon	7783	
Infiltrasjon	2335	18549
Lys og utstyr	4173	
Varmt vann	3500	
SUM TOTALT	26227	

6.2.2 Energi- og effektberegninger etter dagens praksis

I tabell 6.2.2 a er det foretatt effekt- og energiberegninger etter dagens praksis der det er brukt 150 mm isolasjon i veggene og noe bedre vinduer enn forskriftene forlanger. Det er forutsatt en mekanisk avtrekksventilasjon.

Tabell 6.2.2 a. Effekt- og energiberegninger for referanseboligen utført etter dagens praksis.

INPUT DATA BRUKT I ENERGI- OG EFFEKTBREGNINGEN

Innetemperatur: 22

Bygningsdel	Areal m ²	U-verdi W/(m ² *K)	Skjerming	
Vegg	122.00	0.26		
Tak	97.44	0.20		
Gulv	83.80	0.30		
Vindu	19.60	2.10		
Dør	3.60	2.00		
		Solfaktor	Juni	Des
Orientering:	0			
Glass, nord	3.00	0.75	0.60	0.90
Glass, øst	2.28	0.75	0.80	0.60
Glass, syd	10.20	0.75	0.90	0.70
Glass, vest	4.12	0.75	0.80	0.60

Bygningens volum i m³: 316.0
Totalt gulvareal i m²: 83.8

Infiltrasjon, luftveksling 1/h= 0.15

Ventilasjon	Driftstid Timer	Døgn	Uteluftmengde m ³ /h	Virkningsgrad %	System
Full:	24	7	158	0	m

Internvarme	Driftstid Timer	Døgn	Last W/m ²
Belysning:	24	7	3.0
Personer :	24	7	1.4
Utstyr :	24	7	2.7

Klimadata (sol og utetemperaturer) for stedet: Oslo-Blindern

Soldata (W/m²):

Måned:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Syd :	37	79	128	133	140	126	123	135	113	75	28	24
Vest :	8	25	61	91	124	128	117	102	64	31	8	4
Nord :	4	11	22	36	55	70	59	42	27	15	5	3
Øst :	8	25	61	91	124	128	117	102	64	31	8	4

Uttemp: -4.7 -4.0 -0.5 4.8 10.7 14.7 17.3 15.9 11.3 5.9 1.1 -2.0

Dim.utetemp.: -20.0

B E R E G N E D E D A T A I kWh

Varmetap	Måned	Transv	Infiltr.v	Ventil.v	F-faktor
	1	2477	330	1099	1.00
	2	2179	290	966	1.00
	3	2088	278	926	1.00
	4	1544	205	685	1.00
	5	1048	139	465	1.00
	6	655	87	291	1.00
	7	436	58	193	1.00
	8	566	75	251	1.00
	9	961	128	426	1.00
	10	1494	199	662	1.00
	11	1877	250	832	1.00
	12	2227	296	987	1.00
Sum		17552	2335	7783	

Varme-tilskudd	Måned	Belysning	Utstyr	Personer	Solstråling
	1	262	168	96	164
	2	237	152	87	354
	3	187	168	87	720
	4	181	163	84	828
	5	112	168	74	1007
	6	109	163	72	942
	7	112	168	74	915
	8	112	168	74	898
	9	181	163	84	646
	10	187	168	87	394
	11	253	163	93	127
	12	262	168	96	98
	Sum	2195	1982	1010	7093

Totalt	Måned	Varmetap	Utnyt.g	Varmetil.	Varmebehov
	1	3905	1.00	690	3217
	2	3435	1.00	830	2606
	3	3291	1.00	1163	2130
	4	2435	0.97	1257	1211
	5	1653	0.87	1362	473
	6	1033	0.69	1285	141
	7	687	0.51	1270	38
	8	892	0.64	1253	94
	9	1515	0.91	1074	534
	10	2355	1.00	837	1520
	11	2958	1.00	636	2323
	12	3510	1.00	624	2888
	Sum	27670	0.85	12280	17175

Totalt varmebehov	1 kWh/m ²	205.0	1 kJ/m ²	737.8
Totalt energiforbruk uten tillegg		254.8		917.3

Totalt energibehov	254.8 · 83.8 =	21352.2 kWh
<u>Energiforbruk til varmt vann</u>		<u>3500.0 "</u>
<u>SUM</u>		<u>24852.2 kWh</u>

Totalt energiforbruk pr. m² boflate:

$$24852.2 / 131 = \underline{190 \text{ kWh/m}^2/\text{år}}$$

OVERSIKT OVER EFFEKTBEHOV

	W	W/m ²
Varmegjennomgang	4988	59.53
Infiltrasjon	664	7.92
Ventilasjon	2212	26.40
Belysning	352	4.20
Utstyr	226	2.70
Totalt oppvarming	7864	93.84
<u>Totalt (+lys & utst.)</u>	<u>8442</u>	<u>100.74</u>

Tabell 6.2.2 b

Fordeling av energibehovet: Dagens praksis.

Energibehov	kWh	Samlet varmebehov kWh
Transmisjon	7061	17175
Ventilasjon	7783	
Infiltrasjon	2335	
Lys og utstyr	4173	
Varmt vann	3500	
SUM TOTALT	24852	

6.2.3 Energi- og effektberegninger, lavenergiboligen

I beregningene er det forutsatt balansert ventilasjon med gjennomsnittlig 0.7 luftvekslinger pr. time og med bruk av en varmeveksler med 75 % virkningsgrad. Det er også forutsatt en infiltrasjon på 0.1 oms/h og bruk av lysrørspærer med et effektbehov som ligger på 20 % i forhold til vanlige glødelamper.

Tabell 6.2.3 a.

INPUT DATA BRUKT I ENERGI- OG EFFEKTBEREGNINGEN

Innetemperatur: 22

Bygningsdel	Areal m ²	U-verdi W/(m ² *K)	Solfaktor		Skjerming	
Vegg	122.00	0.18				
Tak	97.44	0.15				
Gulv	83.80	0.12				
Vindu	19.60	1.54				
Dør	3.60	1.50				
Orientering:	0				Juni	Des
Glass, nord	3.00	0.72	0.72	0.60	0.90	
Glass, øst	2.28	0.72	0.72	0.80	0.60	
Glass, syd	10.20	0.72	0.72	0.90	0.70	
Glass, vest	4.12	0.72	0.72	0.80	0.60	

Bygningens volum i m³ : 316.0
 Totalt gulvareal i m² : 83.8

Infiltrasjon, luftveksling 1/h= 0.1

Ventilasjon	Driftstid		Uteluftmengde	Virkningsgrad	System
	Timer	Døgn	m ³ /h	%	
Full:	24	7	221	75	balansert

Internvarme	Driftstid		Last
	Timer	Døgn	W/m ²
Belysning:	24	7	0.3
Personer :	24	7	1.4
Utstyr :	24	7	2.7

Klimadata (sol og utetemperaturer) för stedet: Oslo-Blindern

Soldata (W/m²):

Måned:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Syd :	37	79	128	133	140	126	123	135	113	75	28	24
Vest :	8	25	61	91	124	128	117	102	64	31	8	4
Nord :	4	11	22	36	55	70	59	42	27	15	5	3
Øst :	8	25	61	91	124	128	117	102	64	31	8	4

Uttemp: -4.7 -4.0 -0.5 4.8 10.7 14.7 17.3 15.9 11.3 5.9 1.1 -2.0

Dim.utetemp.: -20.0

B E R E G N E D E D A T A I kWh

Varmetap	Måned	Transv	Infiltr.v	Ventil.v	F-faktor
	1	1633	220	384	1.00
	2	1436	193	338	1.00
	3	1376	185	324	1.00
	4	1018	137	239	1.00
	5	691	93	163	1.00
	6	432	58	102	1.00
	7	287	39	68	1.00
	8	373	50	88	1.00
	9	633	85	149	1.00
	10	985	132	232	1.00
	11	1237	166	291	1.00
	12	1468	197	345	1.00
	Sum	11572	1557	2722	

Varmer-tilskudd	Måned	Belysning	Utstyr	Personer	Solstråling
	1	26	168	96	158
	2	24	152	87	340
	3	19	168	87	691
	4	18	163	84	795
	5	11	168	74	967
	6	11	163	72	904
	7	11	168	74	879
	8	11	168	74	862
	9	18	163	84	620
	10	19	168	87	378
	11	25	163	93	121
	12	26	168	96	94
	Sum	220	1982	1010	6810

Totalt	Måned	Varmetap	Utnyt.g	Varmetil.	Varmerbehov
	1	2237	1.00	448	1790
	2	1968	1.00	603	1365
	3	1885	0.97	965	944
	4	1395	0.89	1061	448
	5	947	0.68	1221	120
	6	592	0.49	1150	29
	7	394	0.34	1132	7
	8	511	0.44	1116	18
	9	868	0.78	886	174
	10	1349	0.98	653	709
	11	1695	1.00	403	1292
	12	2011	1.00	384	1627
	Sum	15850	0.73	10021	8523

Totalt varmerbehov pr. m ² gulvflate	1 kWh/m ²	101.7	1 kJ/m ²	366.1
Totalt energiforbruk uten tillegg		128.0		460.7

Totalt energibehov 128.0 · 83.8 = 10726.0 kWh
Energiforbruk til varmt vann 3500.0 "

SUM 14226.0 kWh

Totalt energiforbruk pr. m² boflate:
 14226 / 131 = 108.6 kWh/m²/år

EFFEKTBEREGNINGER

OVERSIKT OVER EFFEKTBEHOV

	W	W/m ²
Varmegjennomgang	3289	39.24
Infiltrasjon	442	5.28
Ventilasjon	774	9.23
Belysning	35	0.42
Utstyr	226	2.70
Totalt oppvarming	4505	53.75
Totalt (+lys & utst.)	4766	56.87

Tabell 6.2.3 a angir de referansedata som er brukt i beregningene. Med et varmtvannsforbruk på 3.500 kWh/år gir dette et årlig energibehov for kjøpt energi for lavenergiboligen på:

$$\text{Totalt energibehov} = 14.226 \text{ kWh}$$

Da boligarealet er 131 m² gir dette et energibehov på:

$$\text{Totalt energibehov pr. m}^2 = 108.6 \text{ kWh}$$

Av tabell 6.2.3 a kan det avleses følgende fordeling av energibehovet, se tabell 6.2.3 b. Det fremgår her at varmebehovet er på 8.523 kWh omtrent jevnt fordelt mellom transmisjons- og ventilasjon/infiltrasjonstap. I posten transmisjonstap er det trukket fra energitilskuddet fra personer som ligger i størrelsesorden 600 kWh over fyringssesongen. Av et totalt energiforbruk på 14.226 kWh er det bare 60 % som er direkte relatert til selve bygningen og som direkte kan påvirkes ved energisparetiltak rettet mot bygningskonstruksjonen.

Tabell 6.2.3 b

Fordeling av energibehovet i lavenergiboligen

Energibehov	kWh	Samlet varmebehov kWh
Transmisjon	4244	8523
Ventilasjon	2722	
Infiltrasjon	1557	
Lys og utstyr	2203	
Varmt vann	3500	
SUM TOTALT	14226	

Hvis energiforbruket til lys og utstyr som er plassert i boligen økes, vil man i vinterhalvåret kunne utnytte en vesentlig del av denne tilskuddsvarmen. Varmebehovet vil dermed reduseres tilsvarende. I sommerhalvåret vil denne økningen føre til et større totalt energiforbruk. Det er derfor viktig å bruke energieffektive husholdningsapparater. I referanseboligen vil produksjon av varmt forbruksvann utgjøre 25 % av det totale energibehovet eller 83 % av transmisjonsvarmetapet gjennom klimaskjermen. For totalt sett å oppnå et lavt kontrollert energiforbruk, må man også ha kontroll med denne energiposten.

Med det utgangspunktet som er lagt til grunn for referansehuset når det gjelder transmisjons- og ventilasjonstap, utgjør differansen for å nå energimålet på 100 kWh/m²/år 8,6 kWh/m² eller totalt 1127 kWh. Da vi ikke har noen garanti for at de foreslåtte energisparetiltak fullt ut kan gjennomføres, er det nødvendig å se på alternative muligheter for energisparing. Det er samtidig nødvendig å kartlegge alternative tiltak som kan gjennomføres innenfor realistiske kostnaderammer for å nå energimålet. En parameterstudie koblet mot kostnader for de forskjellige parametre som påvirker energibehovet vil kunne gi svar på disse forhold. Når det gjelder reelle kostnader vil dette komme frem under fullskala forsøksbygging.

6.3 PARAMETERSTUDIE FOR ENERGI- OG EFFEKTBEHOV, KOSTNADER

For å se på hvilken virkning endringer i enkelte energisparetiltak har på energi-, effektbehov og lønnsomhet, er det foretatt en følsomhetsanalyse der hver enkelt parameter endres mens de øvrig holdes konstant. De enkelte parametre er tildels innbyrdes uavhengige, men påvirker hverandre gjensidig når det gjelder potensialet for energisparing. Dette fører til at den totale energireduksjonen blir vesentlig mindre enn summen av de enkelte tiltakene.

Når det i beregningsresultatene angis dimensjonerende effekter, er det ikke tatt med den effekten som kreves til produksjonen av varmt forbruksvann. Denne vil være avhengig av beredervolum, forbruksmønster etc. og ligger normalt med maks. verdier på 2.0 kW.

6.3.1 Økonomiske vurderinger

Målsettingen er å utvikle lavenergiboliger innenfor Husbankens regelverk og kostnadsrammer. Det er derfor nødvendig å stille meget strenge krav til lønnsomheten for de energisparetiltakene som skal iverksettes. Det er lagt vekt på å innføre energisparetiltak, der man ved hjelp av mer rasjonelle, produksjonsvennlige metoder og byggetekniske løsninger, gir minst mulig økning i byggekostnadene. Nå vil energisparetiltak føre til et redusert energiforbruk som betyr lavere driftskostnader og dermed årskostnader. Man kan derfor tillate visse tillegg i byggekostnadene når tilbakebetalingstiden for investeringene er

kort. Det bør i denne sammenhengen skilles noe mellom mer passive bygningsrelaterte tiltak og tiltak til spesielle installasjoner med mer begrenset levetid. Levetiden på ventilasjonstekniske installasjoner som vifter etc. kan regnes til 15 år, vinduer 30 år og øvrige bygningskonstruksjonen 50 år og mer.

Husbanken gir i dag tillegglån for boliger med spesielle bolig- og miljøkvaliteter som bl.a. omfatter energisparetiltak og sunne boliger. På dette feltet er tillegglånet begrenset oppad til kr 17.000,-. I tillegg finnes det også muligheter for investeringstilskudd enten direkte i form av kroner, eller lån fra regionale energiverk til spesielle enøk-tiltak. For å kunne holde tilleggene i byggekostnadene for energisparetiltak innen disse rammene, har vi som et utgangspunkt satt 3 - 5 år som tilfredstillende tilbakebetalingstid uansett tiltak.

Da prosjektet omfatter fullskala forsøksbygging, vil man senere få full oversikt over reelle tillegg. De foreløpige kostnadsvurderinger som gjennomføres på dette stadium i prosjektet, vil derfor bare være orienterende og forbundet med store usikkerheter. Dette gjelder særlig nye konstruksjoner som ikke tidligere er utført.

Når det gjelder energiprisen har vi konsekvent bruk 0.50 kr/kWh som ramme for kostnadsvurderingen. Som kalkulasjonsrente r_i har vi brukt 7 %. Vi har valgt å se bort fra evt. prisstigning og har bestemt nåverdien K_0 av den årlige energibesparelsen b etter:

$$K_0 = \frac{(1 + r_i)^n - 1}{r (1 + r_i)^n} \cdot b$$

6.3.2 Vinduer

Det er gjennomført energi- og effektsimuleringer for referanseboligen med to- og trelags vinduer med forskjellige egenskaper, se tabell 6.3.2.

Tabell 6.3.2. Energi- og effektberegninger for forskjellige typer vinduer

Vindustype	U-verdi (W/m ² K)	Solfaktor	Energibehov (kWh/m ² /år)	Dim. Effekt (W)	Pris diff.
4-12-E4	1.71	0.71	111.9	4899	0
4-16g-E4	1.54	0.72	108.6	4766	7%
4-12-4-12-E4	1.37	0.62	108.5	4633	13%
4E-12g-4-12g- E4	1.07	0.53	105.9	4399	27%

Ved å skifte over fra vanlige tolags-energiglass til tilsvarende gassfylte vinduer, oppnår man en årlig energigevinst på ca. 400 kWh som svarer til en besparelse på 200,- kr når energiprisen er satt til 0,50 kr/kWh. Som et grovt anslag kan vi anta en gjennomsnittlig pris på ca. 2.000,- kr/m² for vanlige tolags- energiglassvinduer.

Da referanseboligen har et samlet vindusareal på 19.6 m², gir dette en tilleggskostnad på ca. kr 2744,- ved skifte til gassfylte vinduer.

Legges energibesparelsen til grunn for dette vindusskiftet, vil dette ikke være spesielt lønnsomt. Når vi allikevel anbefaler å gå over til å bruke vinduer med mørk U-verdi ≤ 1.6 W/m²K skyldes dette også andre forhold. Med de vindusdimensjonene vi vanligvis har i mindre boliger, vil man ved å bruke vinduer med en U-verdi ≤ 1.6 W/m²K unngå kaldras og dermed behov for varmeovner under vinduer. Man står da vesentlig friere når det gjelder å plassere varmeovner på hensiktsmessige steder i rommet, f.eks. på innervegger. Dette vil kunne forenkle det elektriske anlegget, som kan gi kostnadsreduksjoner.

Av tabell 6.3.2 fremgår det at ingen reduksjon i energiforbruket oppnås ved å skifte fra tolags gassfylte vinduer med lavemisjonsbelegg til trelags vinduer med ett lavemisjonsbelegg. Dette skyldes at referanseboligen har over halvparten av boligens vindusareal mot syd, samtidig som fordelene med en bedre U-verdi oppveies med en dårligere solfaktor. Forskjellen i dimensjonerende effekt er beskjedne 133 W. Samtidig økes kostnadene med ca. 6 % når man tar utgangspunkt i tolags gassfylte vinduer. Dette gir tilleggskostnader på ca. kr 2.350,- i forhold til tolags-gassfylte energivinduer.

Hvis man tilsvarende ønsker å bruke et trelagsvindu med gassfylling og to lavemisjonsbelegg med U-verdi = 1.07 W/m²K, oppnår man en årlig energireduksjon på 354 kWh som utgjør kr 177,- med en energipris på 0.50 kr/kWh . Reduksjonen i dimensjonerende effekt er 367 W. Tilleggskostnadene i forhold til referansevinduet ved å bruke disse vinduene, er ca. 20 % som utgjør:

$$\underline{2.000 \cdot 19.6 \cdot 0.2 = 7.840 \text{ kr}}$$

Med grunnlag i referanseboligen viser dette at det er lite lønnsomt å forbedre vindusstandarden utover tolags gassfylte vinduer med lavemisjonsbelegg. God ventilasjon og luftfordeling i boligen vil sikre at det ikke oppstår problemer som følge av kondens på vinduer.

Konklusjon: Lavenergiboligen utstyres med to-lags gassfylte vinduer med lavemisjonsbelegg. (U-verdi ≤ 1.6 W/m²K, solfaktor ≥ 0.72)

6.3.3 Temperatursoning

I beregningene har vi forutsatt en temperatur innenfor hele klimaskjermen på 22 °C. Planløsningen i referanseboligen fig. 2.9 a er bevisst utført relativt lukket slik at forholdene er lagt til rette for en moderat temperatursoning. I perioder eller mer permanent kan en f.eks. holde noe lavere gjennomsnittlig temperatur i soverom. Dette er mulig spesielt for de større soverommene som er utstyrt med egne tilluftsventiler.

Gjennomsnittstemperaturen i disse rommene i 2. etasje kan f.eks. ligge på 17 °C under fyringssesongen, som vi har satt som den laveste inngangstemperatur for ventilasjonsluften. Under disse forutsetningene vil det ikke være nødvendig å isolere innvendig vegger tilknyttet disse rommene. Når man allikevel ofte ønsker å isolere disse veggene kan dette ha lydmessige fordeler, samtidig som man i perioder kan holde vesentlig lavere temperaturer på soverom. Innvendige bodvegger i 2. etasje bør isoleres. Bodene kan f.eks. ha temperaturer på 15 °C. Under disse forutsetningene vil man ha en gjennomsnittlig temperatur i boligen på ca. 20 °C. Vi har utført energiberegninger med disse forutsetningene, se tabell 6.3.3.

Tabell 6.3.3. Energi- og effektbehov for forskjellige gjennomsnittlige romtemperaturer:

Gjennomsnittlig romtemperatur	Energibehov (kWh/m ² /år)	Dim.effekt (W)
22 ° C	108.6	4766
20 ° C	98.7	4541

Det fremgår av tabell 6.3.3 at man med en beskjeden temperatursoning får en reduksjon i samlet energibehov på ca. 1300 kWh/år. Man ligger da under energimålet på 100 kWh/m² med en differanse på 170 kWh/år. Det er derfor meget effektivt energispareiltak å forea en moderat temperatursoning. Dette krever imidlertid en bevisst handling av beboerne som det i praksis viser seg vanskelig å få gjennomført over tid.

Konklusjon: Lavenergiboligen utføres med en relativt lukket planløsning som gir mulighet for en moderat temperatursoning.

6.3.4 Ventilasjon og varmegjenvinning

I beregningene er det forutsatt en gjennomsnittlig grunnventilasjon på 0.7 luftvekslinger i timen. Det er samtidig benyttet en varmeveksler som har en temperaturvirkningsgrad på 75 %. Det er mulig å forbedre denne virkningsgraden ytterligere ved f.eks. å øke varmevekslerens heteflate. Dette vil kreve at det avsettes større areal til varmeveksleren

samtidig som man vil forsterke frostproblemet i varmeveksleren. Dette vil føre til vesentlige tilleggskostnader.

En bedre metode er å forvarme inntaksluften ved hjelp av et jordrør. Man kan da bruke en rimligere varmeveksler samtidig som man unngår frostproblemer. Kostnadene ved å legge ned et jordrør vil være avhengig av stedlige forhold. Det må være en forutsetning at jordrøret kan legges i løsmasser. Under forutsetning at man bruker energieffektive vifter, bør det være mulig å oppnå en temperaturvirkningsgrad på 90 %. Det er utført energiberegninger med denne forutsetningen, se tabell 6.3.4.

Tabell 6.3.4. Energibehov og dim. effekt avhengig av varmevekslerenes temperaturvirkningsgrad

Temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner	Energibehov (kWh/m ² /år)	Dim. effekt (W)
0	162.8	7086
75%	108.6	4766
90%	98.4	4303
75%*	97.5	4766

* Det forutsettes at ventilasjonsanlegget kjøres halve døgnet med redusert luftmengde (ca. 0.4 luftvekslinger pr. time)

Det fremgår at man kan redusere energibehovet med 1336 kWh/år ved å forbedre varmevekslerens temperaturvirkningsgrad fra 75 % til 90 %. Man oppnår da et energibehov som ligger ca. 210 kWh under en energigrense på 100 kWh/m²/år.

Ventilasjonsanlegget er utstyrt med en vifte med turtallsregulering for å kunne behovstyre ventilasjonen. Ventilasjonen bør imidlertid ikke komme under 0.25 l/sek/m² selv når ingen er tilstede. Dette betyr en minste luftmengde i referanseboligen på ca. 120 m³/h, som svarer til ca. 0.4 luftvekslinger i timen. Man fjerner dermed uheldig avgassing e.l.l. som alltid vil være til stede i en bolig. Hvis det forutsettes at man i gjennomsnitt kjører med denne luftmengden over halve døgnet og ellers med 0.7 luftvekslinger i timen, vil man oppnå en reduksjon i energiforbruket på 1454 kWh. Dette viser at det kan svare seg å investere i en turtallsregulert vifte. I tillegg til en direkte reduksjon i ventilasjonstapet vil man også få en reduksjon i vifteenergien.

Ventilasjonsanlegget med varmeveksler vil representere den største investeringen når det gjelder energieffektive tiltak i boligen. Årlig energibesparelse vil ligge på hele 7100 kWh som utgjør kr 3550,- når energiprisen er satt til 0,50 kr/kWh og det forutsettes en temperaturvirkningsgrad på 75 %. Med en virkningsgrad på 90 % vil årlig energigevinst utgjøre 8436 kWh. Hvis vi ønsker å få tilbake investeringen i ventilasjonsanlegget med varmegjenvinning i løpet av en fem års periode, kan vi tåle en tilleggs kostnad på kr 15.000,- — 17.000,-.

Da en betydelig del av kostnadene til ventilasjonsanlegget er knyttet til kanaler og bygningsmessig forhold, er det lagt stor vekt på disse forhold i referanseboligen.

Konklusjon: Lavenergiboligen utføres med balansert, behovstyrt (variabelt vifteturtall) ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning (temperaturvirkningsgrad ≥ 75 %)

6.3.5 Infiltrasjon

I referanseboligen er det forutsatt et lekkasjetall ≤ 1.4 . Det er imidlertid foretatt relativt få målinger som viser sammenhengen mellom reelt luftskifte og lekkasjetallet. Denne koblingen vil tildels være klimaavhengig. Vi har i referanseboligen forutsatt et luftskifte på 0.1 oms/time på grunn av infiltrasjon. Med et lekkasjetall på 1.0 viser gjennomførte målinger et gjennomsnittlig luftskifte over fyringssesongen i størelsesorden 0.07 oms/time. Da dette er usikre antagelser, har vi sett på energibehovet for forskjellige luftomsetninger som følge av ukontrollert infiltrasjon, se tabell 6.3.5.

Det fremgår her at man får en rask økning i energibehovet på grunn av ukontrollert infiltrasjon. Hvis lekkasjetallet økes fra 1 til 4 (dagens forskrifter), vil energibehovet i referanseboligen økes med ca. 3000 kWh som er nær energibehovet for produksjon av varmt forbruksvann. Infiltrasjonsluft er ukontrollert luft som ikke passerer varmeveksleren.

Tabell 6.3.5. Energibehov ved forskjellig infiltrasjon

Luftveksling oms/time	Lekkasjetall n50	Energibehov (kWh/m ² /år)	Dim. effekt (W)
0.07	1.0	105.7	4633
0.1	1.4	108.6	4766
0.2	2.8	118.5	5208
0.3	4.3	128.7	5651

Konklusjon: Referanseboligen skal ha et lekkasjetall som er ≤ 1.4 . (Luftskifte ≤ 0.1 oms/time)

6.3.6 Vegger

I referanseboligen er det forutsatt en U-verdi for veggene på 0.19 W/m²K. Dette krever 200 tykk mineralullisolasjon og stendere med ekstrudert polystyrenkjerne. Med bruk av heltrestendere vil U-verdien for veggen være 0.20 W/m²K. Det er forutsatt en vindsperre av papp. Hvis denne erstattes av 12 mm porøse trefiberplater, reduseres U-verdien med en faktor på 0.01 W/m²K. I praksis vil forskjellen i U-verdi når det brukes en vindsperre i papp eller porøse trefiberplater sannsynligvis være noe mindre. Elastisiteten i isolasjonen vil kunne presse pappen noe ut og dermed føre til at den reelle isolasjonstykkelsen blir noe større. I simuleringene er det brukt en referanse U-verdi på 0.18 W/m²K. Ved å øke isolasjonstykkelsen ytterligere med 50 mm vil man ha nå en U-verdi på 0.15 W/m²K. Dette gir følgende energireduksjon, se tabell 6.3.6:

Tabell 6.3.6. Energibehov og dim. effekter for forskjellige isolasjonstykkelser. Det er forutsatt vindsperre av papp.

Isolasjons- tykkelse (mm)	Veggens U- verdi (W/m ² K)	Energibehov (kWh/m ² /år)	Dim. effekt (W)
150	0.26	117.4	5156
200	0.20	110.8	4864
200*	0.18	108.6	4766
250	0.15	105.3	4620

* Bruk av stendere med kuldebrytere og 12 mm trefiberplate som utvendig vindsperre

Ved å øke isolasjonstykkelsen fra 150 mm til 200 mm reduseres energibehovet med 1153 kWh/år eller kr 576,- med en energipris på 0.5 kr/kWh. Den aktuelle referanseboligen har en veggflate på ca. 100 m². Med en pris på mineralull isolasjon ferdig lagt på 300 kr/m³, vil en tilleggisolasjon på 50 mm i veggene koste ca. kr 1500,-. Når kalkulasjonsrenten er 7 % vil denne investeringen være tjent inn i løpet av en 3 års periode. Det er da forutsatt at tilleggskostnadene for bindingsverket og romtapkostnadene ved å øke veggtykkelsen med 50 mm er beskjedne.

Dette er forhold som vi bli klargjort ved prosjektering og bygging av en forsøksbolig.

Ved ytterligere å øke isolasjonstykkelsen med 50 mm til 250 mm, reduseres bare energibehovet med 432 kWh/år. Samtidig øker kostnadene på grunn av at veggen blir mer komplisert å montere, den opptar et større areal, tilpassing for vinduer og dører krever mer materialer etc.

Energibesparelsen ved å erstatte heltre stendere med stendere med ekstrudert kjerne og dermed redusere kuldebroen gir en energibesparelse på 120 kWh/år. I tillegg oppnår man ytterligere fordeler ved en enkel montering og god isolasjonstilpassing. Endelig valg av veggutførelse vil bli avklart senere i prosjektet når evt. produksjon og utprøving av nye veggstendere er gjennomført.

Konklusjon: Lavenergiboligen vil bli utstyrt med vegger med spesialstendere med kuldebrytere og en isolasjonstykkelse på 200 mm. (U -verdi = $0.18 \text{ W/m}^2\text{K}$)

6.3.7 Tak

For å fastsette energiramme for referanseboligen er det forutsatt en U -verdi for takkonstruksjonen på $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dette er det mulig å nå ved å bruke 250 mm tykk takisolasjon. I tabell 6.3.7 er det angitt energibehov for forskjellige U -verdier for takkonstruksjonen.

Taket i referanseboligen er sammensatt av en skrå og en horisontal himling. Det er relativt enkelt å øke isolasjonstykkelsen for den horisontale himlingen, mens det for den skrå himlingen fører til konstruktive endringer som kan bety tilleggskostnader. Ved å øke isolasjonstykkelsen for hele takflaten med 50 mm fra 200 til 250 mm, reduseres det årlige energibehovet med 563 kWh. Ved ytterligere å øke isolasjonstykkelsen med 50 mm til totalt 300 mm, vil energireduksjonen bare være 223 kWh. I dag brukes 198 eller 223 mm høye takbjelker i den skrå himlingen med maksimalt 223 mm isolasjon og 50 mm påføring for lufting. I lavenergiboligen er det forutsatt brukt en type I-profiler el.l. der luftingen av taket foregår mellom tekkingen (taksteinen) og undertaket, se byggdetaljer A 525.102.

Referanseboligen har et takareal på 97.4 m^2 . Den skrå takflaten utgjør her et areal på 45.8 m^2 . Med en tradisjonell oppbygging av den skrå himlingen med en isolasjonstykkelse på 223 mm, vil U -verdien være $0.18 \text{ W/m}^2\text{K}$. Hvis man for den øvrige delen av taket bruker 250 mm isolasjon med en U -verdi = $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$, vil økningen i energibehovet bare utgjøre ca. 150 kWh. Dette kan evt. kompenseres ved å øke isolasjonstykkelsen på den horisontale delen av takkonstruksjonen. Med en pris på mineralull isolasjonen ferdig lagt på 300 kr/m^3 , vil en tilleggsisolasjon på 50 mm i takflaten koste ca. kr. 1.462,-. Da er det ikke tatt hensyn til eventuelle tilleggskostnader for konstruktive tiltak for den skrå himlingen.

Man oppnår bare en marginal reduksjon av energibehovet ved å øke isolasjonstykkelsen utover 250 mm. En isolasjonstykkelse på 250 mm på hele takflaten kan bare forsvares hvis dette ikke betyr vesentlige konstruktive tilleggskostnader utover isolasjonskostnadene. I prosjektet vil det bli vurdert forskjellige alternative oppbygninger av takkonstruksjonen.

Tabell 6.3.7. Energi- og effektbehov for forskjellige U-verdier for takkonstruksjonen

Isolasjonstykkelse (mm)	Takets U-verdi (W/m ² K)	Energibehov (kWh/m ² /år)	Dim. effekt (W)
200	0.2	112.9	4961
250	0.15	108.6	4766
300	0.13	106.9	4688

Konklusjon: Lavenergiboligen vil bli utført med en takkonstruksjon med en isolasjonstykkelse på 250 mm alt. 225 mm i den skrå himlingen.

(U-verdi = 0.15 W/m²K)

6.3.8 Gulv på grunnen

I referanseboligen har vi brukt en ekvivalent U-verdi for gulvkonstruksjonen på $U = 0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dette svarer til en isolasjonstykkelse på ca. 200 mm i tillegg til at alle former for kuldebroer langs ringmuren er eliminert. For å kunne forsvare økonomisk å bruke denne isolasjonetykkelsen må gulvkonstruksjonen forenkles. Det betyr i prinsippet at man erstatter betongdekket med isolasjon. Betongdekket med armering og avretting er relativt kostbart. I tillegg kommer evt. energikostnader for en forsert uttørring som er blitt en nødvendighet i en rasjonell boligproduksjon. Gulvisolasjonen erstatter også noe av pukk/gruslaget innenfor ringmuren.

Hvis vi forutsetter at et betongdekke med en tykkelse på 60 mm inkl. armering og avretting koster ca. 160 kr/m² og et pukklag på 100 mm ca. 25 kr/m², får vi en samlet kostnad på 185 kr/m². Hvis vi videre antar at gulvisolasjonen koster ca. 500 kr/m³ vil tilleggskostnaden ved å øke isolasjonstykkelsen fra 50 mm til 200 mm ligge på 75 kr/m². Prisen på en 22 mm vannfast sponplate som legges over gulvisolasjonen ligger på ca. 100 kr/m². Samlet får vi da en pris på isolasjon og sponplate på 175 kr/m².

Under forutsetning av avrettingen av pukk/gruslaget i begge tilfeller omtrent er lik, bør det være mulig å få lønnsomhet i å erstatte gulvløsningen med betong og U-verdi $0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ med en lett konstruksjon med 200 mm isolasjon og U-verdi $0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$. Fullskala forsøksbygging vil kunne gi svar på dette.

Tabell 6.3.8. Gulv på grunnen. Ekvivalent U-verdi, energibehov og dim. effekt.

Isolasjonstykkelse (mm)	Ekvivalent U- verdi (W/m ² K)	Energibehov (kWh/m ² /år)	Dim. effekt (W)
50 - 60	0.3	122.2	5369
100 - 120	0.2	114.5	5034
200	0.12	108.6	4766

Av tabell 6.3.8 fremgår det at reduksjon i energibehovet for referanseboligen ved å øke gulvisolasjonen fra de vanlige 50 mm til 200 mm, ligger på 1782 kWh/år som betyr en årlig besparelse på 891,- kr med en energipris på 0.5 kr/kWh. Her er det derfor et stort potensiale for reelle kostnadsreduksjoner.

Hvis man utfører en tradisjonell gulv på grunnen konstruksjon med betongdekke og bare øker gulvisolasjonen med 150 mm, vil dette koste ca. kr 6.300,-. Hvis man tar utgangspunkt i energibesparelsen, vil man kunne tåle tilleggskostnader på ca. 3. er da forutsatt en kalkulasjonsrente på 7% og en inntjeningstid på 4 år. Dette viser klart at det er behov for mer kostnadseffektive gulv på grunnen løsninger.

Konklusjon: Lavenergiboligen vil bli utført som en lett gulvkonstruksjon med en isolasjonstykkelse på 200 mm. (U-verdi = 0.12 W/m²K)

6.3.9 Oppsummering

Parameterstudien gir en oversikt over den følsomheten endringer i forskjellige energisparetiltak har på boligens energi- og effektbehov. Dette er en nyttig informasjon når man skal koble energieffektivitet mot kostnader. Når det gjelder boligens totale energi- og kostnadseffektivitet, vil det være koblingen mellom de forskjellige tiltak sett i relasjon til planløsning og boligutforming som er avgjørende. Parameterstudien viser at den isolasjonsstandarden som under gitte forutsetninger er lagt til grunn for referanseboligens klimaskjerm (passive energisparetiltak), bør kunne aksepteres ut fra rene kostnadmessige betraktninger. Skal de passive bygningsrelaterte energisparetiltak forbedres ytterligere, forutsetter dette at man samtidig kompenserer for tilleggskostnadene ved å ta i bruk nye materialer eller rasjonelle konstruksjonsmetoder. Dette vil fortsatt være et langsiktig mål for prosjektet. Man har imidlertid kommet ned på et så lavt nivå når det gjelder transmisjonsvarmetapet fra klimaskjermen at man bare vil oppnå marginale energibesparelser selv med betydelige investeringer. Da kan man oppnå større energigevinster ved en mer energiøkonomisk bruk av boligen. Det tenkes da f.eks. på å

gjennomføre en moderat temperatursoning. Denne kan gå ut på å holde noe lavere døgnmiddeltemperatur på soverom i 2. etasje og permanent lavere temperaturer i bodene i samme etasje. Det er meget effektive tiltak som gjør at man vil nå energimålet (100 kWh/m²) for referanseboligen. Dette er imidlertid tiltak man ikke uten videre kan regne med blir konsekvent gjennomført over tid. Vi vil derfor også legge opp til flere alternative tiltak for å nå energimålet.

En annen avgjørende faktor for å nå energimålet ligger i et energieffektivt ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning og lave trykktap for å reduserer vifteenergien. Da ventilasjonsviften skal gå kontinuerlig, er det viktig at denne har høy virkningsgrad og lang levetid. Det er lønnsomt å legge inn muligheter for å kunne regulere luftmengden etter behov. Man kan da kjøre anlegget på en "tomgangs" luftmengde i perioder da ingen oppholder seg i boligen. Tomgangsluftmengden bør normalt ikke falle under 0.25 l/sek/m². Ved å gjennomføre dette tiltaket vil man også oppnå et energiforbruk som ligger under energimålet for referanseboligen.

I det totale energibehovet for en bolig inngår også energien til produksjon av varmt tappevann. Vi har her forutsatt et gjennomsnittlig årlig energibehov på 3500 kWh. Målinger viser imidlertid at man har store individuelle svingninger i varmtvannsforbruket. En måte å få kontroll med dette energiforbruket, i tillegg til å bruke vannbesparende utstyr, er å ha en form for varmegjenvinning eller å utnytte rimelige alternative energikilder for produksjon av varmt vann.

Da det i teoretiske energisimuleringer er forutsatt en ideell temperaturregulering, bør man tilstrebe å gjennomføre energisparetiltak som total sett ligger godt under den energirammen man ønsker å oppnå i praksis.

7 PRODUKSJON AV VARMT TAPPEVANN

Forbruket av varmt tappevann i en lavenergibolig kan variere mye, men vil som et gjennomsnitt ligge i samme størrelsesorden som boligens transmisjonsvarmetap fra klimaskjermen, eller 25 - 30. % av det samlede energiforbruket i boligen. I tillegg til varmt tappevann, vil det også være flere husholdningsapparater som produserer varmt vann. Den samlede energien som fjernes fra en bolig i form av varmt vann vil derfor være noe høyere enn energien til produksjon av tappevann. Nå er det også slik at dette energiforbruket er sterkt brukeravhengig og kan i perioder være betydelig. Skal man totalt sett oppnå lavenergi, må man til en viss grad ha kontroll med dette energiforbruket på linje med de øvrige parameterne som påvirker energibehovet. Dette må kunne skje innen akseptable kostnadsrammer.

7.1 VANNBESPARENDE VARMTVANNsutstyr

En metode å redusere energibehovet er å bruke vannbesparende utstyr. I denne sammenhengen er det særlig fokusert på bruken av sparedusjer. Om dette tiltaket sparer forbruk av varmt tappevann av betydning i vanlige boliger, er sterkt omdiskutert.

En vanlig dusj har en vannføring på 0.2 - 0.25 l/s, mens en sparedusj normalt ligger på det halve 0.1 - 0.125 l/s. Hvis man antar at en normal dusjtid er fire minutter, vil dette føre til en reduksjon i vannforbruk på fra ca. 60 til 30 l. Denne tilsynelatende store besparelsen kan imidlertid lett elimineres hvis man kompensere for liten vannføring med økt dusjtid og tilsvarende øker temperaturen for å kompensere for et større temperaturfall på grunn av en mer finfordelt vannstråle.

Rent generelt er det imidlertid vanskelig å knytte energisparetiltak til bestemte forbruksvaner. Tallrike undersøkelser av energiforbruket i boliger bekrefter dette. Bruk av varmtvannbesparende utstyr bør derfor bare regnes med som ett av flere tiltak som under visse forutsetninger kan gi et redusert energibehov.

7.2 AKTIV SOLVARME

Et annet alternativ er å produsere varmt tappevann ved hjelp av aktiv solvarme. Da en lavenergibolig har et meget beskjedent varmebehov i perioder da solvarmen er mest effektiv, vil det være produksjon av varmt tappevann som har størst interesse. Hvis man skal utnytte aktiv solvarme til oppvarming, krever dette betydelige tilleggsinvesteringer som også gjør dette alternativet relativt uinteressant i denne sammenhengen. Hvis solvarmeanlegget bare skal forsyne boligen med varmt tappevann, vil dette kreve et solfangerareal på 6 - 12 m², avhengig av forbruksmønstrer og solfangerens virkningsgrad. I tillegg må man ha et visst lagringsvolum for varmtvann. Det nyttbare energiutbytte fra denne solfangeren, vil neppe overstige 50 - 60 % av energibehovet for varmt tappevann som svarer til en energibesparelse på 1500 - 2000 kWh. Med investeringer for mindre anlegg i størrelsesorden kr 2.000,- til 3.000,- pr m² solfangerareal, eller totalt kr 20.000,- til 30.000,-, vil dette være lite interessant for boliger med et normalt varmtvannsbehov. I tillegg krever solvarmeanlegget energi til drift av sirkulasjonspumpe og et generelt vedlikehold. Et annet forhold er at et aktivt solvarmeanlegg er lite virksomt i de perioder av året man har spesielt bruk for energitilskudd.

7.3 VARMEGJENVINNING FRA GRÅTT AVLØPSVANN

Som for ventilasjonsluften, er en form for varmegjenvinning av varmtvannet en effektiv måte å få kontroll med energibehovet for produksjon av varmt tappevann. Man kan da fange opp individuelle variasjoner i forbruket uten at dette behøver å føre til for store svingninger i energibehovet. Det er relativt enkelt å fange opp gråvannet i en egen

avløpsledning uten tilleggskostnader av betydning. Gråvannet er alt avløpsvann fra boligen unntatt fra toalettene. Potensialet for gjenvinning er relativt stort og da særlig i fyringssesongen da temperaturen på inntaksvannet er lav. Denne vil i perioder på ettervinteren kunne falle helt ned mot frysepunktet. Karakteristikken på gjenvinningsmønstret for avløpsvannet er gunstig, da det nettopp er i fyringsperioden vi har størst effekt- og energibehov. Lave inngangstemperaturer krever større energitilførsel for å varme vannet i berederen. Samtidig som det må brukes større mengder varmtvann for å nå den ønskede blandingstemperaturen. Energibehovet for produksjon av varmt forbruksvann øker derfor betydelig i vinterhalvåret. Som et grovt anslag kan man f.eks. anta at vanntemperaturen i vinterhalvåret har en gjennomsnittlig vanntemperatur på 4 °C og at tilsvarende vanntemperaturen i sommerhalvåret ligger på 12 °C. Man vil da bare på grunn av temperaturforskjellen ha en økning i energiforbruket til varmtvannsproduksjon i vinterhalvåret på ca. 20 % hvis beredertemperaturen er 60 °C. Hvis forbruket av varmt vann ellers er konstant over året, vil man få en tilsvarende økning i vannføringen frem til berederen på grunn av lav inngangstemperatur på kaldtvannet. Tilsammen vil man derfor kunne ha et energiforbruk til produksjon av varmt vann i vinterhalvåret som kan ligge 20 - 40 % høyere enn i sommerhalvåret.

7.3.1 Gjennomsnittstemperaturen på gråvannet

I energisimuleringene har vi brukt et gjennomsnittlig energibehov for produksjon av varmt tappevann på 3500 kWh/år eller ca. 10 kWh/døgn. Dette gir et gjennomsnittlig effektbehov på 0.42 kW.

Hvis middeltemperaturen på vannet over året settes til 7.5 °C og regner med at dette varmes opp i berederen til 60.0 °C, blir temperaturdifferansen $\Delta t = 52.5$ °C.

Midlere vannføring av varmtvann fra berederen v i l/s er da:

$$v = Q / (c_p \cdot \Delta t)$$

$$Q = \text{midlere effektbehov} = 0.42 \text{ kW}$$

$$c_p = \text{sp. varme for vann} = 4.2 \text{ kWs/kg}^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = \text{temp. diff} = 52.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$v = 0.42 / 4.2 \cdot 52.5 = 1.9 \cdot 10^{-3} \text{ l/s eller } \underline{165 \text{ l/døgn}}$$

Gjennomsnittstemperaturen på varmtvannet til forbruk ligger på ca. 40 °C. Med en midlere inngangstemperatur på vannet på 7.5 °C, betyr dette et samlet varmtvannsforbruk på ca. 270 l/døgn med en vanntemperatur på 40 °C. Dette stemmer relativt godt overes med

målinger som indikerer et varmtvannsforbruk på ca. 75 l/døgn/person. Varmtvannsforbruket er direkte avhengig av hvor mange som bor i boligen.

Hvis man antar at et samlet vannforbruk i en enebolig ligger på ca. 200 l/person/døgn der ca. 60 l et svart avløpsvann, gir dette en gråvannsmengde på 420 l med tre personer. Herav er 270 l vann med temperaturen 40 °C. Den øvrige vannmengden på 150 l blir tilført fra husholdningsutstyr som vaskemaskin, oppvaskmaskin etc. Hvis det antas en middeltemperatur på dette vannet på 25 °C, gir dette en blandingstemperatur på gråvannet på:

$$270 \cdot (40 - t_0) = 150 \cdot (t_0 - 25)$$

$$t_0 = 34 \text{ °C}$$

I perioder når det dusjes eller tappes fra badekar, vil gråvannstemperaturen være vesentlig høyere.

7.3.2 Konstruktive prinsipper

Følgende prinsipper er lagt til grunn for utvikling av en gråvannsvarmeveksler:

- *Konstruksjonen må være enkel og dermed rimelig*
- *Avløpsvannet må kunne passere varmeveksleren selv om varmevekslerfunksjonen er opphørt*
- *Varmeveksleren må kreve minimalt vedlikehold, som forøvrig må være enkelt å utføre*
- *Kaldt vann bør kunne passere varmeveksleren direkte uten blanding med varmere vann*
- *Varmeveksleren bør utformes og plasseres slik at denne ikke opptar knappe arealer i boligen*
- *Plasseringen av varmeveksleren bør være slik at varmetapet fra varmeveksleren er lite eller kan utnyttes*
- *Varmeveksleren må kunne fange opp gråvann fra utstyr i underetasjen*

Hvor stor del av varmen i avløpsvannet det er mulig å gjenvinne er avhengig av forbruksmønster, utførelsen og dermed kostnadene. Man kan i prinsippet tenke seg en motstrømsvarmeveksler som vil kunne ha størst virkningsgrad. Dette vil imidlertid kreve store heteflater og dermed betydelige kostnader. En annen mulighet vil være en kombinert

motstrøms/magasin varmeveksler. Denne kan i prinsippet gjøre relativt enkel og dermed rimeligere. Potensialet for gjenvinning vil da ligge på 40-50% eller 1500 kWh pr år.

7.3.3 Prototyp

Figur 7.3.3 a viser en prototyp av en varmeveksler som er utviklet på bakgrunn av ovennevnte kriterier for utforming. Varmeveksleren er utført i sveiset polyetylenplast og bygd opp av standard rørmaterialer. Det innvendige vannvolumet for tappevannet er på ca. 40 l og volumet for grått avløpsvann det dobbelte ca. 80 l. Som ytterkappe er det brukt et preisolert avløpsrør. Varmeveksleren er i prinsippet utformet som et vanlig avløpsrør slik at man alltid er sikret en tilfredsstillende primærfunksjon, som er fjerning av avløpsvann. Utformingen er også slik at muligheten for gjengroing skal være minst mulig. Da det tar relativt lang tid å overføre varme fra gråvannet til tappevannet, vil varmeveksleren kunne opprettholde noen virkning selv ved noe gjengroing.

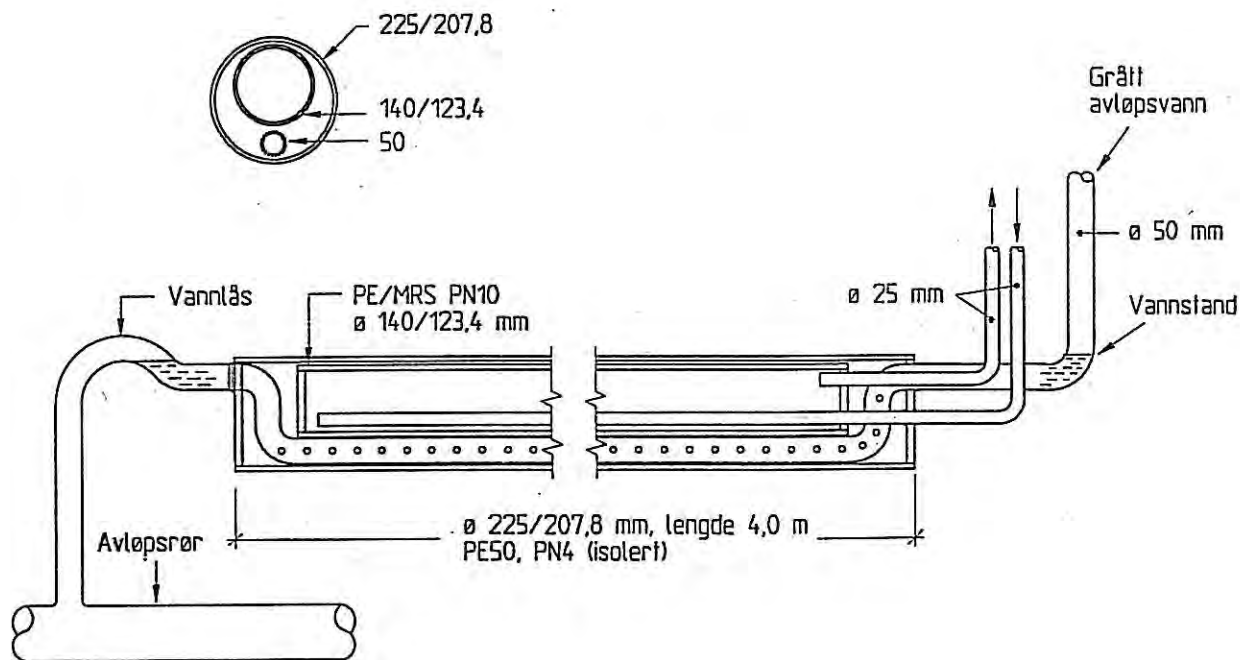


Fig. 7.3.3 a. Prototyputførelse av en gråvannsvarmeveksler for forvarming av varmt tappevann

Det bør også bygges inn muligheter for rengjøring og da i form av spyling evt. kombinert med mekanisk rensing. Se forslag til forenklet modifisert utgave av varmeveksleren, fig.

7.3.3 b. Varmeveksleren er konstruert så kaldt vann direkte kan passere varmeveksleren uten å blandes med det lettere varmtvannet. Vannhastigheten i varmeveksleren er meget beskjedne. Man oppnår dermed en viss temperatursjiktning i varmeveksleren. Dette hindrer avkjøling av hele varmeveksleren i perioder der man bare slipper ut kaldt vann i gråvannsavløpet. Varmeveksleren vil bli lagt med fall for å sikre at det er det vannet med den laveste temperaturen som først blir fjernet fra veksleren.

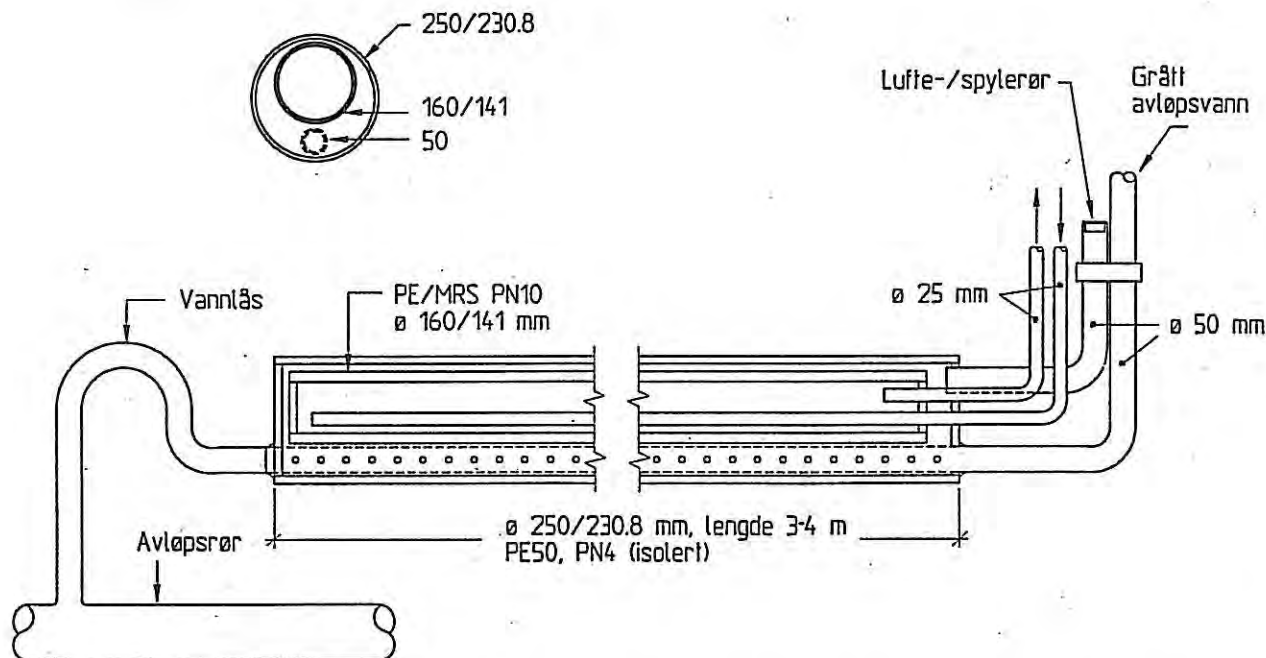


Fig. 7.3.3 b. Modifisert forenklet utgave av varmeveksleren med større volum og mulighet for rengjøring i form av spyling evt. kombinert med mekanisk rensing via spylørret.

Det er forutsatt at varmeveksleren skal plasseres i et nivå under gulvet innenfor ringmuren. Her vil temperaturforholdene være relativt stabile over hele året med en gjennomsnittstemperatur på 12 - 15 °C. Da potensialet for varmegjenvinning er størst i vinterhalvåret, er det viktig at varmeveksleren har denne plasseringen slik at den ikke utsettes for lave temperaturer og dermed stort varmetap i vinterhalvåret. Man unngår dermed opptak av verdifull plass i en ellers kompakt planløsning, og har mulighet for å samle opp avløpet fra underetasjen. Samtidig som man også kan utnytte noe av varmetapet fra gulvet.

Hvis gulvet utføres som en lett konstruksjon med stor isolasjonstykkelse, er det også mulig å plassere varmeveksleren høyere i gulvkonstruksjonen. Man vil da også kunne legge noe isolasjon under varmeveksleren. Det er da ikke nødvendig å isolere selve varmeveksleren. Med denne plasseringen vil varmetapet fra varmeveksleren være lite, og i perioder med overtemperaturer vil noe varme kunne avgis til gulvet og dermed utnyttes.

7.3.4 Funksjonsvurderinger

Det er ikke foretatt reelle laboratorietester av prototypen, men det er foretatt visse teoretiske funksjonsvurderinger. For å få bygget en prototyp av varmeveksleren, har det av enkelhetshensyn vært nødvendig å bygge denne opp av sveisbare standard plastprodukter. Spesielt når det gjelder det innvendige røret for forvarmet tappevann, som vil ha fullt vanntrykk, vil dette gi relativt stor godstykkelse. Det er her brukt et PE/MRS 100 PN 10 rør med en ytre diameter på 140 mm og en godstykkelse på 8.3 mm. Varmeledningsevnen for dette materialet ligger på 0.38 W/mK. Dette er relativt lavt og vil forsinke forvarmingsprosessen. Dette røret bør i prinsippet ha en høyest mulig varmeledningsevne.

Under stasjonære forhold vil varmetilførselen til det indre forvarmingsrøret være gitt av uttrykket:

$$q = k \cdot l \cdot \Delta t \quad (1)$$

l = rørlengden = 3.5 m

Δt = temperaturdifferansen mellom gråvannet og tappevannet

k = varmegjennomgangstallet (W/m²K) som er gitt med uttrykket:

$$k = \pi / \left\{ \frac{1}{\alpha_y d_y} + \frac{1}{2 \lambda_p} \cdot \ln \frac{d_y}{d_i} + \frac{1}{\alpha_i d_i} \right\} \quad (2)$$

$\alpha_y = \alpha_i$ = varmeovergangstallet mellom væske og forvarmingsrør = 200 W/m²K

λ_p = varmeledningsevnen for forvarmingsrøret = 0.38 W/mK

d_y = utvendig diameter for forvarmingsrøret = 140 mm

d_i = innvendig " " " = 123.4 mm

Varmeovergangen mellom væske og forvarmingsrør foregår, når det ikke tilføres vann til varmeveksleren, som fri konveksjon. Varmeovergangstallet i dette tilfellet er gitt av uttrykket:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d_y}{\lambda} = 0.4 (Gr \cdot Pr)^{1/4} \quad (3)$$

$$Gr = \frac{g \cdot d_y^3 \cdot \beta \cdot \Delta t}{\nu^2} \quad (4)$$

Stoffverdier for vann ved 20 °C:

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$

$\beta = \text{romutvidelseskoeff.} = 0.2 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K}$

t_a = gråvannstemperaturen

t_i = vanntemperaturen i forvarmingsrøret

Ved å løse denne likningen bestemmes temperaturen på tappevannet t_i som funksjon av tiden T til å være:

$$t_i = t_a - \Delta t_o \cdot e^{\frac{-k \cdot T}{c_p \cdot V_i}} \quad (6)$$

Hvis det forutsettes at inngangstemperatur på vannet på 2.0 °C får vi:

$$t_i = 34 - 32 \cdot e^{\frac{-46 \cdot T}{4.2 \cdot 10^3 \cdot 40}}$$

Denne funksjonen er avbildet i fig. 7.3.4 a.

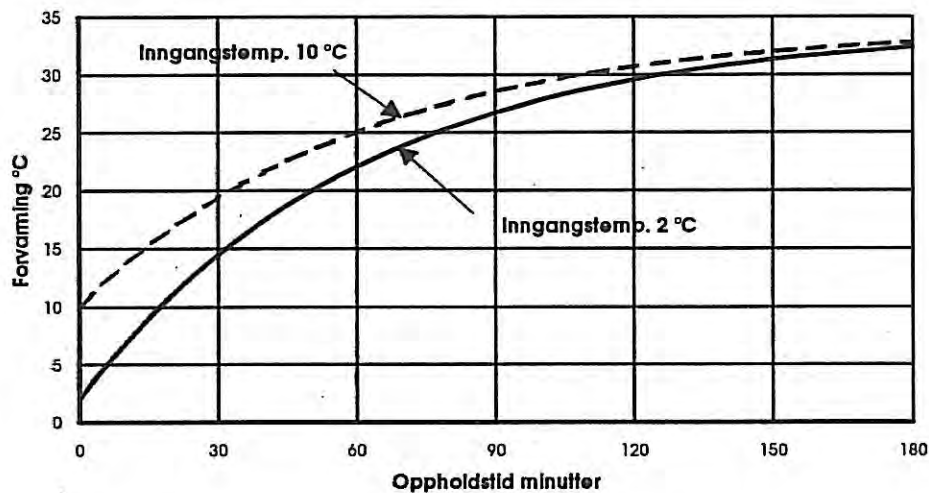


Fig. 7.3.4 a. Forvarming av tappevannet ved konstant gråvannstemperatur

Under stasjonære forhold når det ikke er liten eller ingen gråvanntilførsel, vil temperaturstigningen av vannet i forvarmingsrøret Δt_i være gitt av :

$$\Delta t_i = \frac{k \cdot (t_a - t_i)}{c_p \cdot V_i} \cdot \Delta T \quad (7)$$

Når man ser bort fra varmetapet fra varmeveksleren til omgivelsene vil tilsvarende avkjølingen av gråvannet Δt_o være:

$$\Delta t_y = \Delta t_i \cdot \frac{V_i}{V_y} \quad (8)$$

For prototyp varmeveksleren der $V_y = 2 V_i$ er $\Delta t_y = \frac{1}{2} \Delta t_i$. Forvarming av tappevannet og avkjølingen av gråvannet er angitt på fig. 7.3.4 b.

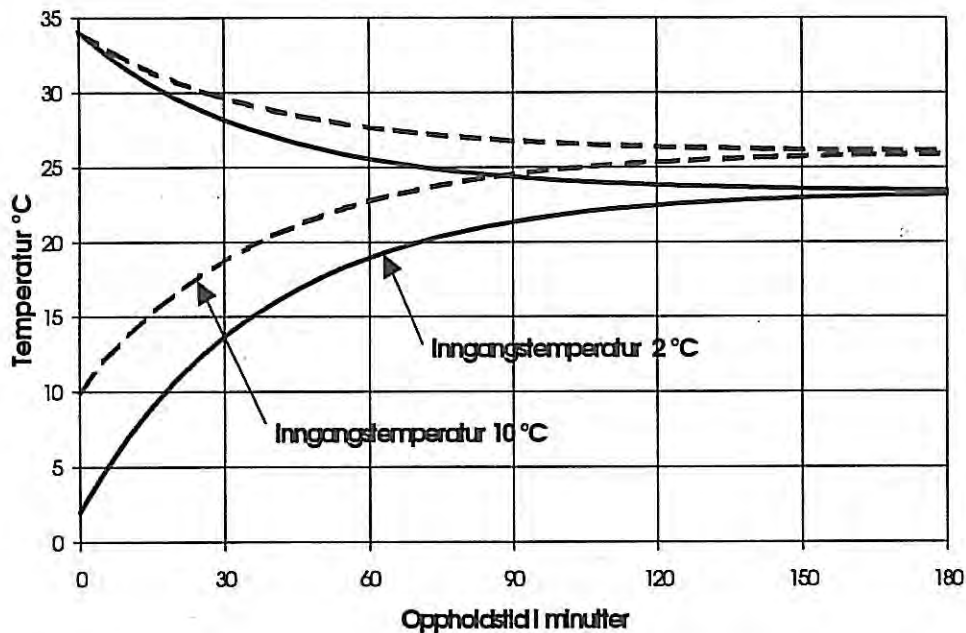


Fig. 7.3.4. b. Oppvarming og avkjølingsforholdene som funksjon av oppholdstiden.

Det fremgår her at med en inngangstemperatur på 2 °C oppnår man en temperaturstigning til ca. 23 °C etter en periode på ca. tre timer. Med en inngangstemperatur på 10 °C blir sluttemperaturen 26 °C. Forutsetningen for å oppnå denne varmeutvekslingen er at man har en fri konveksjon rundt forvarmerøret. For å sikre dette kan det være nødvendig å øke den ytre rørdiameteren. Det er også viktig å legge røret med fall for å oppnå noe intern sirkulasjon ved mindre vanttappinger. Perforeringen av bunnrøret må også være så stor at det varme gråvannet relativt fritt kan stige opp rundt forvarmerrøret. Det er derfor en rekke forutsetninger som må oppfylles for at varmeveksleren skal virke etter forutsetningene. Dette vil kreve videre utvikling og utprøving i laboratoriet og praksis.

7.3.5 Nødvendig vannvolum

Av avsnitt 7.3.1 fremgår det at vannføringen til varmtvannsberederen er ca. 40 % av den samlede gråvannsmengden. Noe av gråvannet har lavere temperaturer og vil passere direkte gjennom varmeveksleren uten å avgi varme. Gråvannsvolumet bør derfor minst være dobbelt så stort som forvarmervolumet. Når det gjelder å fastlegge størrelsen på varmeveksleren, vil dette være avhengig av forbruket og forbruksmønstret. For eksempel

vil en normal dusj avgi en gråvannsmengde på 40 - 50 l. Dette vil gi en vannføring til berederen på 20 - 30 l avhengig av beredertemperaturen. Tilsvarende vil et badekar avgi en gråvannsmengde på 100 - 150 l, mens den vannmengden som tilføres fra berederer ligger på 50 - 80 l når beredertemperaturen er 70 °C.

Da kostnadene for varmeveksleren er direkte bestemt av volumet er det viktig å finne en optimal størrelse. Hvis varmeveksleren er plassert slik at denne har et varmetap til omgivelsene som ikke kan nyttiggjøres, bør den også av denne grunn ikke ha for stor overflate. Varmevekslerens volum kan enkelt økes ved å forlenge røret. Prototyp varmeveksleren som er utført med et gråvannsvolum på ca. 80 l og med 40 l i forvarmingsrøret har noe lite vannvolum. Økt vannvolum gjøre en mindre avhengig av svingninger i forbruket, men vil samtidig utjevne temperaturoppene. Man vil bedre kunne fange opp et større konsentrert vannforbruk. Dette vil øke gjenvinningspotensiale for storforbrukere av varmt vann.

7.3.6 Potensialet for varmegjenvinning

Varmegjenvinningspotensialet for en varmeveksler av denne typen, som kan utnytte varme avgitt i form av varmt vann fra alle husholdningsapparater, er avhengig av en rekke faktorer, men vil ligge i størrelsesorden 30 - 50 % av energien til produksjonen av varmt tappevann. Det er temperaturnivået på gråvannet som setter den teoretiske begrensningen for hvor mye energi det er mulig å gjenvinne. For å kunne utnytte de høyeste temperaturnivåene er det viktig at man her en god varmeoverføring fra gråvannet til tappevannet for å redusere oppvarmingstiden. Dette forutsetter at innerrøret har relativt høy varmeledningsevne. Plasseringen av varmeveksleren vil også ha stor betydning. Hvis varmetapet fra varmeveksleren ikke direkte kan utnyttes, bør dette være lavest mulig.

Den absolutte energigevinsten vil foruten rent konstruktive forhold være avhengig av forbruktets størrelse og forbruksmønstret. En av hensiktene med varmeveksleren er nettopp å redusere energiforbruket til produksjon av varmt vann også for storforbrukere. Med et normalforbruk av varmt vann på 3500 kWh kan man kunne ha et gjenvinningspotensiale på 1000 - 1500 kWh. Av dette vil 60 - 70 % gjenvinnes i vinterhalvåret når man har størst behov for varmetilskudd. Gjenvinningen vil kunne økes betydelig med et økt forbruk. Storforbrukere av varmt vann vil derfor ha spesiell nytte av en gråvannsvarmeveksler.

Lønnsomheten for varmeveksleren er direkte avhengig av forbruket. Det er også en fordel om man har et anlegg med infiltrasjon av gråvann i grunnen. En enkel gråvannsvarmeveksler ferdig installert bør ikke koste mer enn ca. kr 5.000,- for at den skal

være intressant i en lavenergibolig. God lønnsomhet forutsetter da at man har et noe større varmtvannsforbruk enn normalforbruket.

8. MATERIALVALG

Her vil bl.a. resultater fra NTNf-prosjektet BA 29534, Energi- og miljøregnskap for byggematerialer, bli lagt til grunn for et mer bevisst materialvalg. I motsetning til en vanlig bolig der energiforbruket til å produsere selve boligen bare utgjøre 5 - 10 % av det totale energiforbruket boligen bruker over en 50 års periode, vil tilsvarende forhold for en lavenergibolig kanskje ligge helt opp mot 25 %. I tillegg til det samlede energibruket vil forskjellige materialers emisjoner og muligheter for gjenbruk spille en vesentlig rolle for materialvalget. Dette kan gå på å vurdere bruken av materialer som tre - mur, gipsplater-sponplater, forskjellige typer isolasjonsmaterialer etc. Dette arbeidet vil starte opp i 1994.

9. REFERANSER

1. Sverre Fossdal/ Hallvard Hagen 1992: Byggeforskriftenes energibestemmelser, kravnivå, utførelse, økonomi, konsekvenser
2. Jon Christophersen 1993: Valg av hustype, romprogram og planløsning. Internt notat.
3. Per Gundersen 1992: Miljøvennlige, rimelige lavenergiboliger. NBI Prosjektrapport 102
4. NBI Byggetaljer G 472.321 Lavenergiboliger.

