

Per Gundersen

Miljøvennlige, rimelige lavenergiboliger

Prosjektrapport 1992

BYGGFORSK

Norges byggforskningsinstitutt

Per Gundersen

Miljøvennlige, rimelige lavenergiboliger

Prosjektrapport 105 – 1992

Prosjektrapport 105
Per Gundersen
Miljøvennlige, rimelige lavenergiboliger

ISBN 82-536-0391-6
100 eks. trykt hos
Nordberg Aksidenstrykkeri A/S

© Norges byggforskningsinstitutt 1992

Adr.: Forskningsveien 3B
Postboks 123 Blindern
0314 OSLO
Tlf.: (02) 96 55 00
Fax (02) 69 94 38 og (02) 96 55 42

FORORD

NBI har opprettet en tverrfaglig prosjektgruppe for å utvikle et boligkonsept der energiforbruk og inneklima ses i sammenheng med bygningstekniske løsninger, tekniske installasjoner og arkitektur. Dette er en nødvendig forutsetning for å kunne produsere boliger som er sunne, energieffektive, har god kvalitet og lav kostnad. For totalt sett å oppnå et godt boligmiljø og lave kostnader er dette arbeidet koblet sammen med NBI's kompetanse på området Lett Kommunalteknikk og forenklet tomteopparbeidelse.

Rapporten er todelt der en del behandler enkelte bygningselementer og installasjoner i en lavenergisammenheng og en del gir eksempel på en lavenergibolig med ukonvensjonell planløsning der det er foretatt en grov energi- og kostnadsanalyse.

Det er også skrevet en kortversjon som gir en oversikt over nødvendige tiltak som må gjennomføres for å oppnå boliger med lavt energiforbruk, godt inneklima til lav kostnad.

Det vil også bli utgitt en egen NBI prosjektrapport på tema lavenergi, og publisert en artikkel i fagpressen.

Følgende har gitt finansiell støtte til prosjektet:

Norges Energiverksforbund
Statens bygningstekniske etat (BE)
Elkem Rockwool A/S
Glava A/S
NTNF

Prosjektet vil bli videreført med utvikling av konkrete lavenergiboliger som vil bli utprøvd i praksis. Her vil samspillet mellom arkitektur og teknologi stå sentralt. Der det er en overordnet målsetting å komme frem til sunne lavenergiboliger til en fornuftig pris.

Oslo mai 1992
Per Gundersen

INNHOOLD

	Side
FORORD	
INNLEDNING	3
OPPSUMMERING	4
1.0 BAKGRUNN OG MÅLSETTING	13
2.0 FORUTSETNINGER	15
3.0 ENERGIKILDER	16
4.0 OPPVARMINGSMETODER, VARMEANLEGG	17
4.1 Lavtemperatur varmeanlegg, gulvvarme	19
4.1.1 Rørmaterialer	22
4.1.2 Avgitt effekt fra gulvet	23
4.1.3 Gulvet brukt til avkjøling av rommet	24
4.1.4 Varmebehov	25
4.1.5 Gulvarmeanleggets varmetreghet	26
5.0 TILTAK FOR Å SPARE ENERGI	27
6.0 TILTAK FOR Å REDUSERE KOSTNADER	29
7.0 EKSEMPEL PÅ LAVENERGIBOLIGER	31
7.1 Bebyggelsesplan	31
8.0 OPTIMALISERING OG VIDEREUTVIKLING AV LAVENERGIKONSEPTET	32
8.1 Gulv på grunnen	32
8.1.1 Reelt varmetap fra gulvet sett i relasjon til NS 3031	33
8.1.2 U-verdi for gulvkonstruksjonen, energiberegninger	34
8.1.3 U-verdi for gulvkonstruksjonen, effektberegninger	36
8.2 Gulv på grunnen med gulvvarme	36
8.2.1 Varmetap fra gulv med gulvvarme til grunnen	37
8.2.2 U-verdi for gulvkonstruksjonen, energiberegninger	40
8.3 Varmetap fra gulv på grunnen, oppsummering. anbefalte isolasjonstykker med og uten gulvvarme	42
8.4 Fundament, varmelager, gulvvarme	46
8.4.1 Gulv på grunnen med kombinert gulvvarme og varmelager	47
8.4.2 Varmegjenvinning fra "grått avløpsvann"	50
9.0 VENTILASJON I LAVENERGIBOLIGER	52
9.1 Mekanisk ventilasjon med varmegjenvinning	58
9.2 Forvarming av ventilasjonsluften uten tilskudd av kjøpt energi	64

10	VEGG- OG TAKELEMENTER	66
11	VINDUER	70
12	SOLVARME	71
13	ENERGISENTRAL	73
14	DISTRIBUSJON AV VARMEENERGI I FORM AV VARMT VANN	75
15	DYNAMISK ISOLASJON OG LAVENERGIBOLIGER	78

BILAG 1

Eksempel på en lavenergibolig

Energiberegninger, kostnadsvurdering og systembeskrivelse

Innledning

Brundtlandkommisjonens rapport "Vår felles fremtid" konkluderer med at Lavenergi-scenarium er den eneste realistiske alternativ for verden i det 21. århundre. Energisparingsmulighetene må derfor følges opp på alle områder. For bygningssektoren blir det ikke snakk om bare de tradisjonelle ENØK resultatene på 10-30%, men kanskje å redusere helt til null behovet for ikke fornybar energi til oppvarming og å redusere 50% og mer det totale energiforbruket i bygninger. Ikke bare energiforbruket, men også behovet for kjøpt effekt vil få en betydelig reduksjon.

Dersom disse intensjonene skal følges opp må alle muligheter for å spare energi utnyttes. For å akselerere denne utviklingen kan man forvente at prisen på energi til alminnelig forbruk vil øke de nærmeste årene. De tiltak man setter i verk i dag for å redusere energiforbruket i boligene, vil derfor være en meget lønnsom investering. Lavenergiboliger vil bli meget etterspurt når energikostnadene krever et stadig større innhugg i disponibel inntekt. Det er derfor på høy tid at disse problemstillingene settes på dagsorden.

Skal man lykkes med å redusere energiforbruket og total kostnadene må energi, installasjoner og arkitektur ses i sammenheng. Målet med prosjektet er å ende opp med realistiske lavenergikonsepter. Det er lagt vekt på å presentere løsninger som gir størst mulig fleksibilitet når det gjelder valg av energikilder. De forslag til energisparetiltak som er presentert er på ingen måte komplette og endelige løsninger, men må ses på som ledd i diskusjonen om lavenergiproblematikken. Det er trukket frem spesielle forhold der det åpenbart er mye å hente både når det gjelder reduksjon i energiforbruk og kostnader. Andre tiltak og løsninger vil være mer situasjonsbetinget. Løsningene er basert på bruk av dagens teknologi for dermed hurtigst mulig å komme i gang med kostnadseffektive energisparetiltak vi vet fungerer.

Prosjektet vil bli videreført med utvikling av konkrete lavenergi-konsepter som vil bli utprøvd i praksis. Her vil samspillet mellom arkitektur og teknologi stå sentralt. Utprøvingen vil omfatte temperatur- og energimålinger, kostnadsanalyser og vurdering av inn klimaet. Det er også viktig å utvikle og utprøve ny teknologi i en lavenergisammenheng.

MILJØVENNLIGE, RIMELIGE LAVENERGIBOLIGER

Oppsummering

Prospekt og dokumentasjon av et eksempel på en lavenergibolig er vist i Bilag 1. Målet her har primært vært å redusere energiforbruket mest mulig med bruk av tilgjengelig teknologi. De valgte systemløsningene er derfor ikke optimalisert når det gjelder kostnader. I rapporten er de valgte løsningene bearbeidet videre med tanke på mer optimal utførelse også økonomisk.

Sett i relasjon til boliger bygget i overensstemmelse med byggeforskriftene vil det med dagens teknologi ikke være noe problem å redusere det totale forbruket av kjøpt energi i nye boligområder med 60-80%. En bolig med en reduksjon av det totale energiforbruket på minimum 50 % har vil valgt å kalle for en "Lavenergibolig". Hvor langt ned i energiforbruk en bør gå når det gjelder nye boliger, vil derfor være et kostnadsspørsmål. Dette vil igjen være direkte koblet til utviklingen i energiprisene. Også lokale forhold og tilgang på alternativ energi kan være avgjørende. Prisene på nye boliger er allerede meget høye uten spesielle energisparetiltak. Nå er det imidlertid ikke slik at alle tiltak for å spare energi nødvendigvis koster penger. Det tenkes da på en mer energiøkonomisk gunstig utforming og plassering av boligen i terrenget med gode detaljløsninger som sikrer uønskede luftlekkasjer, en planløsning med muligheter for soneinndeling, bevisst utnyttelse av passiv solvarme etc.

Skal man lykkes med å redusere energiforbruket og totalkostnadene må energi, installasjoner og arkitektur ses i sammenheng. Det er vist eksempel på en bolig med teknisk og energiøkonomisk gunstig planløsning. Boligen har en sentralt beliggende varm kjerne med konsentrert opplegg av alle tekniske installasjoner og våtrom. Ingen tekniske installasjoner er plassert i bærende vegger.

Det er lagt vekt på å presentere løsninger som gir størst mulig fleksibilitet når det gjelder valg av energikilder. Da alle energikilder kan omdannes til energi i form av varmt vann, kan det være en fordel å basere lavenergiboligene på en kombinasjon av elektrisitet, som alltid vil være tilstede, og vannbårne systemløsninger. Varmt vann ($\leq 60\text{ }^{\circ}\text{C}$) såkalt lavtemperaturvarme har begrenset anvendelighet, men er velegnet til boligoppvarming. Lavtemperaturvarme kan utnyttes til boligoppvarming ved å ha store varmeflater f.eks. gulvvarmeanlegg, og til å forvarme varmt forbruksvann og ventilasjonsluft.

For at et gulvvarmeanlegg skal betegnes som et lavtemperatursystem, og dermed utnytte lavest mulige vanntemperaturer, er gulvkonstruksjonen

meget viktig. For det først bør rørene legges i godt ledende masser som betong el., for å få best mulig varmeavgivelse fra rørene og varmfordeling i gulvet. Videre bør gulvbelegget ha minst mulig varmemotstand men samtidig lav temperaturledningssevne. Fliser bør bare brukes på bad der man gjerne vil ha noe høyere gulvtemperaturer. De øvrige rom med gulvvarme bør være behagelig å gå på uten oppvarming, f.eks. vinyl, kork, tre etc. Til tross for relativt komplisert oppbygde systemer med varmfordelingsplater i aluminium, vil gulvvarmeanlegg i trebjelkelag vanligvis opereres med høyere vanntemperaturer enn i betonggulv. Kostnadene ved å legge varmerørene i trebjelkelag med varmfordelingsplater er omtrent de samme som å legge kablene i påstøp. Da varmeavgivelsen fra varmerørene er bedre når disse legges i påstøp over trebjelkelaget vil vi anbefale denne løsningen. Man oppnår dermed også andre fordeler som en døgnutjevning av temperaturen.

En vesentlig kostnad i et gulvvarmeanlegg er rørkostnadene. Det er derfor spesielt viktig for en lavenergibolig der varmebehovet er beskjedent, at det ikke legges mer rør enn høyst nødvendig. Dette oppnås ved å velge et riktig leggemønster for rørene der man først tilfører turvannet til sonen ved yttervegger med størst varmetap. I dag finnes det en rekke typer rimelige plastrør som kan brukes i gulvvarmeanlegg. I motsetning til gulvvarme med elektriske varmekabler som må legges av elektrikere, er det meget enkelt å legge varmerør som ikke krever autorisert personell. Riktig dimensjonerte og utførte anlegg gjør at tilleggskostnadene ved vannbåret gulvvarme i en lavenergibolig er relativt beskjedne i forhold til en tradisjonell løsning med elektriske panelovner.

Normalt ønsker man å utføre gulvvarmeanlegget minst mulig varmetregt. Dette kan oppnås ved at betongplaten har en maksimal tykkelse på 50 mm. For en lavenergibolig med beskjedent varmebehov og dermed lave gulvtemperaturer, vil denne varmetregheten være av mindre betydning. Det kan faktisk være en fordel å ha en varmetreg gulvkonstruksjon. Man får da et tilnærmet selvregulerende gulvvarmeanlegg med utjevning av temperaturene over døgnet. Dette gjør det også i prinsippet mulig å kombinere gulvvarme med et varmelager. Denne løsningen forutsetter at gulvvarmen bare skal være en grunnvarme, mens hurtige svingninger i varmebehovet ivaretas av mindre elektriske panelovner, eller vannbaserte konvektorer. Overtemperaturer om sommeren kan dempes ved å kjøre kaldt vann i gulvvarmerørene.

Alternative energikilder basert på fornybar energi som solvarme, og energi fra naturen (jord, sjø, luft) via varmepumper, har ofte begrenset effektivitet under dimensjonerende forhold vinterstid når man trenger energien mest. Da det ikke bare er energiforbruket, men også behovet for kjøpt effekt som skal være lavest mulig, betyr dette at boligene generelt må ha et lavt totalt varmetap. Nå er det en

direkte kobling mellom effekt og energi når det gjelder boligoppvarming. En bolig med et lavt effektbehov vil samtidig ha et lavt energiforbruk.

Varmetapet fra en vanlig bolig er jevnt fordelt mellom transmisjonsvarme gjennom bygningsdeler som vinduer, vegger, gulv og tak og ventilasjonstap. For å oppnå lavenergi, må man derfor angripe begge disse forhold.

Skal man opprettholde en tilfredstillende luftkvalitet i moderne tette og godt isolerte boliger, kreves en god ventilasjon i tillegg til et fornuftig valg av byggematerialer. Energiøkonomisk, komfortmessig og for å unngå fuktskader bør disse boligene, med bakgrunn i dagens teknologi, være utstyrt med mekanisk ventilasjon med en form for varmegjenvinning av ventilasjonsluften. Det tenkes da primært på varmevekslere der fraluften varmer opp tilluften. Dette forutsetter en relativt lufttett bolig og et balansert ventilasjonsanlegg.

Hvis boligen er utett vil man få en god varmegjenvinning av en luftmengde man strengt tatt ikke har bruk for. Man oppnår ingen energibesparelse. Et ventilasjonsanlegg med mekanisk til- og fraluft skal dimensjoneres slik at ventilasjonsbehovet i boligen er tilfredstilt. På grunn av varmegjenvinningen har man mulighet for en forsert ventilasjon i perioder uten at dette betyr vesentlig høyere energiforbruk.

Noe av varmeinnholdet i fraluften kan også gjenvinnes ved bruk av en fraluftsvarmepumpe. Da luften bare avkjøles til 3 - 5 °C vil dette være en mindre gunstig løsning spesielt hvis boligen er relativt lufttett. Fraluftsvarmepumper brukes vanligvis til produksjon av varmt tappevann. Da installasjon av en fraluftsvarmepumpe er relativt kostbar, bør man ha et forbruk av varmt tappevann utover det vanlige før dette er lønnsomt.

Det finnes i dag på markedet varmevekslere med meget høye temperaturvirkningsgrader (80-90 %). Disse varmevekslerne er utstyrt med filter på inntakssiden som sikrer ren tilluft. Også på fraluftsiden er det vanligvis montert filter. Ved en fornuftig plassering av varmeveksleren og bruk av lydfeller og lave lufthastigheter, vil en ikke få problemer med støy. Skal man totalt sett oppnå en høy virkningsgrad må kanalene ikke ha luftlekkasjer og ha en tilfredstillende varmeisolasjon.

Platevarmevekslere kan benyttes når man ønsker en full separering av avtrekks- og inntaksluften. En høy virkningsgrad på denne typen varmevekslere kan føre til problemer med ising når utelufttemperaturen faller under -5 til -10 °C. Skal platevarmevekslerne opprettholde en høy virkningsgrad også under disse forholdene, må tilluften forvarmes.

Denne forvarmingen kan foregå på forskjellige måter. Man kan f.eks. ha et elektrisk- eller vannoppvarmet varmebatteri foran friskluftsinntaket på varmeveksleren. Forvarmingen kan oppnås uten tilskudd av kjøpt energi, ved å la luften passere et rør som ligger nedgravd i grunnen. Fordelen med et markrør er at man i tillegg kan få avkjølt luft under sommerforhold når man har problemer med overtemperaturer. En forvarming av ventilasjonsluften sørger for at det ikke er nødvendig med ettervarming av inntaksluften.

En metode er å la avtrekksluften tine isen ved å stoppe inntaksviften eller føre tilluften utenom varmeveksleren i en periode. Dette må gjøres relativt hyppig da selv en beskjedent isdannelse vil redusere varmevekslerens virkningsgrad. Denne metoden anbefales ikke da varmevekslerens effektivitet vil bli betydelig redusert i en periode man har god bruk for denne. Varmeveksleren må samtidig utføres med separate motorer for inntaks- og avtrekksluft som vil gi større energiforbruk.

I tillegg til selve varmeveksleren inngår det også kanalføringer som både er kostbare og arealkrevende. I Bilag 1 er det vist en løsning der varmeveksleren er plassert sentralt i boligen. Det er brukt bakkantinnblåsing til de enkelte rom med avtrekk fra sentralt plasserte våtrom. Dette gir en enkel montering og kortest mulige kanallengder og dermed lave kostnader. For til enhver tid å sikre en god luftutskiftning i soverom, kan det i spesielle tilfeller være behov for både tilluft- og avtrekksventil i disse rommene.

Når det gjelder å redusere transmisjonstapet gjennom bygningsdeler er vinduene spesielt viktige. Vinduer er den bygningsdel som har størst varmetap pr. kvadratmeter og sørger samtidig for å tilføre boligen passiv solvarme. I lavenergiboliger er det derfor forutsatt å bruke en eller annen form for høyisolerte vindustyper. Høyisolerte vinduer gjør det unødvendig med varmekilder under vinduer for å forhindre kaldras og dermed økt varmetap. Dette er spesielt viktig når gulvvarme er eneste varmekilde.

Med betegnelsen høyisolerte vinduer forutsetter vi en U-verdi som er lik eller bedre enn ca. $1.7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dette kan i prinsippet oppnås både med to og treglass vinduer. Vinduene har lavemisjonsbelagt glass innvendig og er gassfylte (Argon). Samlet solvarmetilførsel til rommet, består av den direkte transmitterte solinnstrålingen og den sekundære varmetilførselen fra absorpsjon i rutene, og betegnes som vinduets solfaktor. Toglassvinduer med klart glass har en solfaktor på 0.78, mens tilsvarende treglassvinduer har en solfaktor på 0.7. Nyer typer vinduer med lavemisjonsbelegg nærmer seg vanlig klart glass når det gjelder lystransmisjon.

Hvor langt ned i U-verdi man bør gå når det gjelder vindus-

konstruksjonen vil igjen være betinget av kostnadene. Da ikke alle boliger eller deler av boligen har en optimal plassering i forhold til sola, vil det generelt være vinduets varmeisolerende egenskaper som bør prioriteres. Dette tilsier at man i dagens situasjon bør velge en treglassløsning. Privatøkonomisk vil det allerede i dag være lønnsomt å bruke gassfylte treglassvinduer med to lavemisjonsbelegg. Med en god rammekonstruksjon kommer man da ned i en U-verdi på $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ med en solfaktor på ca. 0.6. Den betydelige reduksjonen i varmetap man da oppnår, som vil forhindre kaldras fra kalde flater, gjør at man kan forenkle varmeanlegget. Man kan da spare inn noe av tilleggskostnadene ved å bruke bedre vindustyper. Etter hvert som det blir mer vanlig å bruke høyisolerte vinduer, samtidig som det pågår en rivende utvikling av nye vindustyper f.eks. vakuumvinduer etc., kan man forvente ytterligere reduksjoner både i priser og U-verdi.

Man forbinder gjerne lavenergiboliger med tykke vegger, tak og gulv for å få plass til mye isolasjon. Når det gjelder gulv og tak er det relativt enkelt å øke isolasjonstykkelsen, mens det for vegger er arealkrevende og dermed kostbart å øke veggtykkelsen. Man bør derfor utnytte alle muligheter for å redusere veggens U-verdi før man øker veggtykkelsen. I denne sammenheng er det viktig å unngå kuldebroer av enhver art. Dette gjelder selve vegg, men også overgangen mellom vegg og fundament, vinduer, dører, tak og bjelkelag. Når veggtykkelsen øker, får eventuelle kuldebroer prosentvis større betydning for varmetapet. En enkel måte å redusere kuldebroeffekten er å bruke I-bjelker. I dag er I-profiler konkurransedyktige allerede ved veggtykkelser på 200 – 250 mm i forhold til mer konvensjonelt oppbygde bindingsverksvegger. En veggtykkelse på 250 mm vil være et godt kompromiss når det gjelder arealforbruk og energiøkonomi.

I referanseprosjektet Bilag 1 er det brukt 250 mm tykke I-profiler både i vegger og tak. Denne vegg med vanlig mineralullisolasjon har en U-verdi på $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$. En konvensjonelt oppbygd vegg med samme tykkelse har en U-verdi på $0.18 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dette gir en forbedring i U-verdien på ca. 8 %, som i dette tilfellet er ekvivalent til en økning i veggtykkelsen på ca. 20 mm. Når man skal foreta en reell sammenligning av veggens egenskaper inngår derfor både veggens U-verdi og tykkelse. En annen egenskap med I-profiler er at ved å forsterke innerflensen kan denne alene utgjøre den bærende del av vegg. Dette vil ytterligere kunne redusere kuldebroeffekten ved bjelkelag og ved overgangen fundament/vegg. Bruk av I-profiler muliggjør en enkel prefabrikkasjon av større veggelementer hvis dette er hensiktsmessig.

Når det gjelder valg av isolasjonsmaterialer vil kostnadene pr. isolasjonsenhet være en viktig faktor. Det forutsettes da at de øvrige egenskapene er tilfredstillende og sammenlignbare. Mineralull som er det mest vanlige isolasjonsmaterialet i vegger og tak, har en varmeledningsevne på 0.036 W/mK . Tilsvarende har cellulosefiber en

varmeledningsevne på 0.039 W/mK. Dette er en økning på ca. 8 % som må kompenseres ved å øke isolasjonstykkelsen.

Skal man ytterligere forbedre veggens U-verdi uten å øke veggtykkelsen, kan man bruke isolasjonsmaterialer med lavere varmeledningsevne. Dette kan være polyuretan med varmeledningsevne 0.028 W/mK, eller ekstrudert polystyren med varmeledningsevne 0.03 W/mK. Med dagens teknologi vil imidlertid bruk av disse isolasjonsmaterialene gi relativt høye tilleggskostnader.

Man kan også tenke seg å bruke transparente isolasjonsmaterialer i bygningskonstruksjoner for å utnytte solenergien bedre. I tillegg kan det brukes en form dynamisk isolering (ventilasjonsluften trekkes gjennom tak og veggisolasjonen) for å gjenvinne deler av transmisjonsvarmetapet og dermed øke det totale potensialet for varmegjenvinning. Dette er løsninger som i liten grad er utprøvd systematisk i Norge.

Når det gjelder takkonstruksjonen vil det være relativt enkelt å øke isolasjonstykkelsen uten at dette får samme bygningstekniske konsekvenser som å øke veggtykkelsen. Nyere kostnadsanalyser viser at det med dagens energipriser kan være lønnsomt å øke takisolasjonen utover de 250 mm som er brukt i referanseboligen. Det kan være økonomisk grunnlag for å redusere U-verdien for taket helt ned mot 0.1 W/m²K som betyr tykkelser på 300-350 mm.

Når man skal fastlegge en energiøkonomisk riktig tykkelse på gulvisolasjonen for en bolig med gulv på grunnen fundamentering med ringmur eller sokkelløsning, vil forholdene være vesentlig forskjellig fra den øvrige bygningskonstruksjonen. Gulvet vil ha et varmetap til grunnen over hele året, og ikke bare i fyringssesongen som vegg- og takkonstruksjonen.

Gulvkonstruksjonen og grunnens stor varmetreghet gjør at man vil ha mindre svingninger i varmetapet over året, og en faseforskyvning når det gjelder maksimalt varmetap fra gulvet til grunnen i forhold til utelufttemperaturen på ca. 1 1/2 måned. Ved fyringssesongens slutt i mai måned, vil varmetapet fra gulvet til grunnen være nær 90% av maksimalt varmetap. På grunn av mindre temperaturdifferanser er det en vanlig oppfatning at varmetapet fra gulvet er generelt lavere enn for vegger og tak. Dette er også riktig under dimensjonerende kilmaforhold, men endres utover fyringssesongen da varmetapet fra gulvet kan være høyere enn for en godt isolert vegg. Man bruker da også vesentlig mindre isolasjon i gulvet. En vanlig tykkelse på gulvisolasjonen er 50 mm ekspandert polystyren med varmeledningsevne 0.036 W/mK. For rom som ikke har solvendte vinduer og liten varmeutveksling med den øvrige boligen, vil dette kunne føre til et betydelig energiforbruk under og utover en normal fyringssesong. Sett

over både fyringssesongen og året vil man derfor kunne tape mer varmeenergi gjennom et dårlig isolert gulv enn en godt isolert vegg eller takkonstruksjon. Dette forsterkes ytterligere når det brukes gulvvarme med høye gulvtemperaturer. Det finnes også tilfeller f.eks. rom med stort solinnfall der det kan være gunstig med lave gulvtemperaturer for å forhindre overoppheting. Rent energiøkonomisk vil det imidlertid være mer gunstig å forhindre overtemperaturer på annen måte enn å øke varmetapet ved å redusere isolasjonsstandarden.

Da mindre boliger har en beskjedne grunnflate, vil varmestrømmen fra gulvet være tilnærmet tredimensjonal. I tillegg har materialene i grunnen ofte relativt høy varmeledningsevne. Grunnmaterialene kan også bli kjølt ned av vann som infiltreres i grunnen og av grunnvannstrømninger. Dette betyr at det normalt er relativt beskjedne varmemengder som kan magasineres i grunnen under en mindre bolig.

Vi vil derfor i en lavenergisammenheng anbefale å fordoble de isolasjonstykkelsene som brukes i gulv på grunnen løsninger i dag. Det betyr generelt tykkelser for gulvisolasjonen på 100 mm, og 150 - 200 mm når det brukes gulvvarme. Det er meget enkelt å øke gulvisolasjonen. Dette vil ikke påvirke den øvrige bygningskonstruksjonen, og man vil kunne spare kostbar grus som brukes innenfor ringmuren.

Spesielt når det brukes gulvvarme, er det viktig at man er omhyggelig med utførelsen av overgangen mellom gulv og vegg så man unngår kuldebroer. Det er vist eksempler på hvordan dette kan utføres.

Skal man ytterligere redusere det totale energiforbruket i boliger må man også se på energien til produksjonen av varmt tappevann (ca. 4.000 kWh/år). Det er mulig på en enkel måte, med lave kostnader, å gjenvinne minst 40 % av denne energien. Man kan utnytte direkte varmeinnholdet i det grå spillvannet som har en middeltemperatur på 30 - 35 °C. Varme fra det grå spillvannet kan utnyttes som tilskudd til boligens eget gulvvarmeanlegg, i tillegg til forvarming av varmtvannet. Hvis boligen ikke har vannbåret gulvvarme, kan hele varmeoverskuddet brukes til å forvarme varmtvannet. Det er vist eksempler på hvordan dette kan utføres.

I nye miljøboliger med alternativ rensing av avløpsvannet, er det vanlig å skille det grå og det sorte avløpsvannet. Det grå avløpsvannet som er relativt lite forurensset kan infiltreres i grunnen, mens det svarte avløpsvannet fra toalettene behandles spesielt. Dette forenkler ytterligere varmegjenvinning av det grå avløpsvannet. Fordelen ved å gjenvinne varme fra det grå avløpsvannet til forvarming av det varme tappevannet, er at man har størst effekt i vinterhalvåret da inngangstemperaturen på vannet er lav. Dette vil også kunne bidra til å redusere effektoppene vinterstid.

Som et alternativ til å gjenvinne varme fra det grå avløpsvannet, kan varmt tappevann produseres ved hjelp av solvarme. Forutsetningen for lønnsomhet er at solfangeren inngår som en integrert del av takkonstruksjonen og dermed ikke fører til tilleggskostnader av betydning. En effektiv utnyttelse av solvarmen forutsetter en form for varmelagring. Varmekapasiteten på varmelageret bør svare til minimum tre døgnns varmebehov. For en lavenergibolig der solvarmen også skal forsyne boligen med varmt vann til oppvarming, vil dette bety en 4-5 m³ akkumulatortank med vann eller 8-10 m³ betong. Hvis solvarmeanlegget bare skal produsere varmt tappevann, vil det være tilstrekkelig med en vanntank på ca. 400 l og et solfangerareal på 10 - 15 m². Varmeproduksjonen fra solfangeren vil i dette tilfellet ligge i samme størrelsesorden som varmegjenvinningen fra det grå avløpsvannet. Selv om varmegjenvinningen av det grå avløpsvannet er mest effektivt i vinterhalvåret og solfangeren i sommerhalvåret, vil det neppe være regningsvarende å installere begge typer anlegg i en og samme bolig.

I en lavenergibolig vil det være mest interessant å utnytte solvarmen til produksjon av varmt tappevann. Spesielt interessant vil det være hvis man har et relativt stort forbruk av varmtvann. Generelt vil man få en relativt dårlig utnyttelse av solfangeren i en lavenergibolig hvis denne også skal bidra med varme til oppvarming. Dette til tross for at solfangeren gir en relativt høy dekningsgrad (ca. 30 %) for energiforbruket i boligen, se Bilag 1.

Man kan også utføre boligen mer optimal når det gjelder utnyttelse av passiv solenergi bl.a. ved bruk av større vindusarealer. Dette har imidlertid lite for seg i vårt klima der solenergi ikke er tilgjengelig når man mest trenger den. Man vil også lett få problemer med et høyt effektbehov om vinteren, og overoppheting i perioder der man har overskudd på varme.

Det finnes også solfangere med høy virkningsgrad som kan monteres i eksisterende boliger med et betydelig varmebehov. Her bør grunnlaget for en tilfredstillende økonomi være til stede og særlig hvis boligen har et vannbåret varmeanlegg.

I stedet for å satse på individuelle løsninger, kan det anlegges energisentraler for produksjon av varmt vann for flere boliger. Dette er aktuelt hvis man f.eks. ønsker å utnytte solvarme gjerne kombinert med fjernvarme og vannbåret varmesystem. Det er vist et eksempel på en enegisentral der solvarme evt. grått avløpsvann står for forvarming av varmtvannet kombinert med elektrisitet og fjernvarme. Man får da en vesentlig bedre utnyttelse av tilgjengelig solvarme selv om dekningsbidraget, for energibehovet til de enkelte boliger, blir relativt beskjedent. I lavenergiboligen Bilag 1, er hver bolig utstyrt med et solfangerareal på 40 m². Energiproduksjonen for dette

solfangerarealet vil være ca. 3.200 kWh/år, herav 2.000 kWh/år til varmt tappevann. Hvis et tilsvarende solfangerareal tilknyttes samtlige 9 boliger vil energiutbytte økes til ca. 15.000 kWh/år eller en femdobling.

Bruk av fellesløsninger forutsetter at man har rimelige distribusjonssystemer for varmt vann. Ved bruk av fellesgøfter for alle tekniske anlegg, nye typer plastrør og en åpen felles isolasjonsutførelse som ikke krever fuktbeskyttelse, blir distribusjonskostnadene og varmetapene beskjedne. Det er samtidig viktig at tilkoblingen til hver bolig er mest mulig rasjonell. Dette kan oppnås ved å ha et felles tilknytningspunkt i boligen for alle tekniske anlegg. Dette gjør at stikkledninger for hver bolig reduseres til et minimum. For å forenkle kontroll og drift av anleggene bør alle tekniske installasjoner samles i et eget sentralt beliggende installasjonsrom med inspeksjonsluke i gulvet.

Da de fleste energisparetiltak påvirker hverandre gjensidig, er det viktig at man ser på helheten og ikke vurderer forskjellige tiltak separat. Man kan da lett komme i den situasjon at overinvestering på et felt bare gir marginale energigevinster og samtidig utelukker andre mindre kostbare løsninger med større sparepotensiale. For eksempel hvis solvarmeanlegget i referanseboligen Bilag 1, også skal brukes til boligoppvarming vil energigevinsten bare være ca. 1.200 kWh/år. Skal denne varmen utnyttes vil dette kreve spesiell varmelagring, vannbåret anlegg etc. Hvis varmelageret kobles sammen med gulvvarmeanlegget vil varmetapet fra gulvet kunne reduseres i tillegg til at man kan oppnå en viss forvarming av det varme tappevannet. På denne måten kan man øke effekten av solfangeren. Hvis man ikke satser på et vannbåret varmeanlegg kan det i dette tilfellet kanskje være mer lønnsomt å investere i noe bedre vinduer el. Det har liten hensikt å investere i et kostbart ventilasjonsanlegg med varmeveksler hvis boligen er utett. Installasjon av en fraluftsvarmepumpe utelukker solfangeranlegg etc.

Det er også viktig at lokale tiltak ikke undergraver økonomien i produksjon av primærenergien. Dette er spesielt aktuelt hvis man i et område har installert fjernvarme f.eks. fra et søppelforbrenningsanlegg og lokalt installerer anlegg som reduserer behovet for varmt vann, men øker elektrisitetforbruket. Når man skal fastlegge økonomiske rammer for aktuelle energisparetiltak, er det viktig å ha evalueringsverktøy som kan sikre en optimal utnyttelse av investeringene.

KOSTNADSRIKTIGE MILJØ- OG BRUKERVENNLIGE LAVENERGIBOLIGR

1.0 BAKGRUNN OG MÅLSETTING

Målsettingen med prosjektet er å gi konkrete eksempler på hvordan vanlige småhus (100 m² grunnflate) kan utføres som lavenergiboliger. Målet er å komme så langt ned i årlig energiforbruk som mulig innenfor en akseptabel kostnadsramme.

For å kunne betegnes som lavenergiboliger bør det årlige energiforbruket ligge i størrelsesorden halvparten til en tredel av dagens forbruk. Dette betyr et energiforbruk mindre enn 100 kWh/m²/år. Dette energiforbruket inkluderer husholdnings-el og varmt forbruksvann.

Varmetapet fra en vanlig bolig isolert etter byggeforskriftene er jevnt fordelt mellom transmisjonsvarme gjennom bygningsdeler som vinduer, vegger, gulv og tak og ventilasjonstap, se fig. 1.0 a. For en bolig med et totalt forbruk av kjøpt energi på 20.000 kWh/år vil bare ventilasjons- og infiltrasjonstapet utgjøre ca. 8.000 kWh/år. Samtidig vil dimensjonerende effekt være ca. 6.5 kW. Hvis en tilsvarende bolig skal ha et maksimalt energiforbruk på 10.000 kWh/år (lavenergi), vil både ventilasjons- og transmisjonstapet tilsammen ikke kunne overstige 6.500 kWh/år eller mindre enn ventilasjonstapet i en vanlig bolig. I fig. 1.0 a er det vist energifordelingen for en lavenergibolig med varmegjenvinning av ventilasjonsluften. Det fremgår her at transmisjonsvarmetapet er like stort som energien til produksjon av varmt tappevann. Dimensjonerende effekt er i dette tilfellet redusert til 3.0 kW.

For å oppnå lavenergi må både transmisjons- og ventilasjonstapet reduseres betydelig. Skal man komme ytterligere ned i energiforbruk med utgangspunkt i dagens teknologi, må en gjøre noe med energien til produksjon av varmt tappevann. Man kan da ta i bruk alternativ energi som solvarme, energi fra naturen (jord, sjø, luft) via varmepumper eller gjenvinne varme fra grått avløpsvann.

Hensikten med prosjektet er å starte opp en utviklingsprosess hvor energi, installasjoner og arkitektur ses i sammenheng, der man skal ende opp med et realistisk lavenergikonsept. Det er diskutert endel forslag til tiltak for å redusere både kostnader og energiforbruk. Ikke alle tiltak er like aktuelle og delvis situasjonsavhengige, men kan vurderes uavhengig av hverandre. Vi har i det vesentlige konsentrert oppmerksomheten om lavenergi i tilknytning til ny småhusbebyggelse.

Isolert etter byggeforskriftene 20 000 KWh	Lavenergi 10 000 KWh	
Ventilasjon + infiltrasjon 8 000 KWh	Ventilasjon + Transmisjon 6 500 KWh	Ventilasjon + inf. 2 000 KWh
Transmisjon Vinduer Vegger Golv Tak 7 500 KWh	Varmtvann 3 500 KWh	Transmisjon 3 500 KWh
Varmtvann 3 500 KWh		Varmtvann 3 500 KWh
Rest 1 000 KWh		Rest 1 000 KWh
Maks. effekt 6,5 KW		Maks. effekt 3,0 KW

Fig. 1.0 a. Fordeling av kjøpt energi i en bolig (100 m²) isolert etter byggeforskriftene og en tilsvarende lavenergil bolig

I tillegg til lavt energiforbruk skal også effektbehovet være lavt. Boligene må derfor utstyres med høyverdig varmeisolasjon og vinduer med lavt varmegjennomgangstall (U-verdi). Dette kan bety noe mindre utnyttelse av alternative fornybare energikilder, f.eks. solvarme, men gir total sett et lavere forbruk av kjøpt energi. Problemet med alternative energikilder av typen solvarme er at man har tilgjengelig betydelige energimengder på et tidspunkt da denne energien ikke kan nyttiggjøres. Derimot er det sparsomt med solenergi om vinteren når behovet er størst. Det finnes i dag ingen reell mulighet for direkte å sesonglagre solenergi. Man kan indirekte hente ut noe av denne energien f.eks. i form av jordvarme via en varmepumpe, men med en lav virkningsgrad og høye kostnader.

Det er tatt med en kombinasjon av flere energisparetiltak, der det er lagt spesiell vekt på at de bygningstekniske løsningene skal være mest mulige rasjonelle. Man har da mulighet for å velge de systemer som i øyeblikket er økonomisk interessante. Det vil alltid være vanskelig å fastlegge riktige priser på nye systemer og løsninger før disse er utprøvd i praksis. Vi har derfor lagt vekt på å presentere løsninger basert på relativt kjent teknologi.

2.0 FORUTSETNINGER

Referanseboligen som er vist i Bilag 1 skal ha et godt innneklima som forutsetter bruk av "sunne" materialer, og det er energimessig regnet med en gjennomsnittlig ventilasjonsgrad på

min. 0.5 luftomsetninger pr. time i alle rom. Videre skal boligen ha god tilgang på dagslys. Boligens generelle bygge- og driftskostnader skal være lave.

Klimadata for Oslo er brukt som grunnlag for dimensjoneringen. Boligene skal ha en god boligstandard og vi har valgt en såkalt, livsløpsstandard. Livsløpsbolig defineres som bolig med slak og trappefri atkomst. Inngang, stue, kjøkken, bad med WC og minst ett soverom skal ligge på et inngangsplan. Boligen skal ha en rommelighet som tillater bruk av hjelpemidler som gåstativ eller rullestol og plass for en hjelper.

Boligene skal bygges på et svakt hellende terreng mot vest. For å holde en arealsgrense på ca. 100 m², er det valgt en to etasjes bolig med plate på grunn fundamentering som referanse, Bilag 1. Det er også vist en løsning med sokkeletasje som vil ha noe større boligareal. For å oppnå bruksmessige fordeler har vi valgt en boligform med kjedehus selv om rekkehus er noe energimessig gunstigere. Dette gjør at de løsningene som er valgt kan brukes på frittliggende eneboliger som er den mest vanlige boligform i Norge i dag.

På grunn av dagens situasjon med sterkt pressede priser på nye boliger, er det viktig at de tiltak som gjennomføres for å spare energi kan forsvares rent økonomisk. Da boligene kan forventes å ha en lang levetid (50-100 år) må det legges til grunn en riktig energipris.

Det er mye som tyder på at med nye miljøavgifter på fossil energi og en fremtidig knapphet, vil energiprisen både på kort og lang sikt øke betydelig. Det er også vanskelig å kunne tenke seg vesentlig prisforskjell på fossil energi og elektrisitet fra vannkraft. I dag følger prisen på energi i form av varmt vann stort sett prisen på fossilt brensel, men ligger noe lavere. Ved å kunne utnytte lavere vanntemperaturer, er det sannsynlig at denne prisforskjellen vil øke. Prisen på lavtemperaturvarme vil være sterkt stedsavhengig.

Det skal imidlertid relativt små økninger til i energiprisen før de fleste alternative energikilder, og da spesielt solenergi, vil være generelt konkurransedyktig. Høyere energipriser gjør det også mer attraktivt å investere i energisparetiltak når lønnsomheten blir bedre. I våre vurderingene er det imidlertid lagt til grunn dagens prisnivå på energi.

Lave kostnader oppnås bl.a. ved å konsentrere og forenkle de tekniske installasjonene som omfatter VA, el., varme- og

ventilasjonsanlegg. Ytterlige besparelser oppnås ved å utvikle helhetsløsninger som kan intereres i bygningene. For eksempel kan deler av takkonstruksjonen erstattes av en solfanger. Deler av fundamentet kan utnyttes som kombinert varmelager og gulvvarmeanlegg. Dermed reduseres varmetapet fra gulvet samtidig som man også relativt enkelt kan bygge inn et system for varmegjenvinning av grått avløpsvann og forvarming av varmtvannet.

Noe av tilleggskostnadene i energisparetiltak bør kunne kompenseres ved en mer rasjonell byggeprosess. Dette omfatter alt fra utforming av bebyggelsesplanen og boligene, utvendige tekniske anlegg med boligtilknytning, innvendig planløsning, rasjonell elementbygging, anlegg av felles energisentral etc. Det er også viktig i en energisammenheng at det legges vekt på å bruke materialer med et lavt energiinnhold og lang levetid. Materialene bør samtidig i størst mulig grad kunne gjenvinnes.

3.0 ENERGIKILDER

Ved bygging av lavenergiboliger er det en fordel å velge systemløsninger som gir størst mulig fleksibilitet når det gjelder valg av energikilder. Aktuelle energikilder er vannkraft, olje, gass, søppel (forbrenningsanlegg, metangass fra søppelfyllinger), spillvarme fra industri, varme fra spillvann, ventilasjonsluft og naturen via varmepumpe (jord, sjø, luft), solvarme, biobrensel mm. Noe av denne energien kan omdannes til elektrisitet, en kombinasjon av elektrisitet og varmt vann eller bare varmt vann. Alle energikildene kan omdannes til energi i form av varmt vann. Varmt vann ($\leq 60^{\circ}\text{C}$) er ofte et spillprodukt med begrenset anvendelighet og betegnes derfor også som lavkvalitetsenergi. Varmt vann kan forekomme i rikelig mengder til relativt lav pris, og er velegnet til boligoppvarming. For å redusere energitapene ved overføring av varmeenergi i form av varmt vann, bør temperaturnivået være så lavt som mulig. Samtidig må varmeenergien utnyttes mest mulig for å begrense rørdimensjonene. Dette forutsetter bruk av lavtemperatur varmeanlegg.

Man oppnår størst fleksibilitet ved å basere lavenergiboligene på vannbårne varmesystemer. I tillegg vil varme avgis fra elektriske installasjoner som lys, husholdningsapparater etc. Ved å bruke vannbårne systemer har man mulighet for en varmelagring. Man kan da bedre utnytte tilfeldig kraft, solvarme etc. som ikke er tilgjengelig kontinuerlig. Med dagens teknologi for varmelagring ved å bruke vann- eller betongmagasin, vil det bare være over kortere tid 1 - 3 døgn at det er økonomisk hensiktsmessig å lagre varme. Man kan også tenke

seg å lagre solvarme i grunnen under huset. Man vil da i spesielle tilfeller kunne lagre varme over noe lengere periode. Denne varmelagringen vil imidlertid ha beskjedent innvirkning på boligens energiforbruk idet det primært bare er varmetapet fra gulvet til grunnen som reduseres.

4.0 OPPVARMINGSMETODER, VARMEANLEGG

Et lavt energiforbruk i lavenergiboliger er vanligvis koblet sammen med et beskjedent varmebehov. Varmebehovet under dimensjonerende forhold vil kunne ligge så lavt som 30 - 50 W/m². En del av dette varmebehovet dekkes av varme avgitt fra personer og husholdningen. Praktisk talt all varme fra husholdningen dekkes av elektrisk energi. Man har allerede kommet langt i å utvikle lavenergibelysning og energibesparende husholdningsapparater. Samtidig introduseres det stadig nye tekniske hjelpemidler i boligene slik at varmetilskuddet fra husholdningen neppe kan forventes å falle drastisk i nærmeste fremtid. Nå vil ikke varmetilskuddet fra husholdningen være konstant fordelt over døgnet eller året. Det er energiøkonomisk gunstig at energitilskuddet fra husholdningen følger aktivitetsnivået i boligen. Dette stiller imidlertid store krav til varmeanlegget som til enhver tid skal tilfredstille varmebehovet.

Alle teoretiske beregninger av energiforbruket forutsetter en optimal styring av varmeanlegget. Perioder med overtemperaturer vil hurtig kunne forskyve varmebalansen og føre til et større energiforbruk. Det hjelper lite om det på papiret kan vises til store potensielle muligheter for energibesparing hvis ikke varmeanlegget kan oppfylle disse kravene. Vi vet, og målinger viser at bruk av elektrisk energi til oppvarming gir en god energitilpassing og dermed et lavt forbruk. Dette betyr ikke at det også finnes andre muligheter basert på alternative energikilder og vannbårne systemer som kan gi like gode resultater. Det er vesentlig at dette kan oppnås uten at totalkostnadene økes. I totaløkonomien over anleggets levetid inngår både anleggs- og driftskostnadene.

Uansett varmesystemer eller energibærere må det utvikles styringssystemer som til enhver tid sørger for at varmebalansen i boligen kan opprettholdes. Dette gjelder også systemer som kan ta hånd om overtemperaturer i sommerhalvåret. Et lavt energiforbruk skal ikke gå på bekostning av et tilfredstillende innneklima.

Da lavenergiboliger gjerne kobles sammen med bruk av alternative energikilder, foreligger ofte varmeenergien i form

av varmt vann med relativt lav temperatur. For å utnytte vann med lav temperatur (25–45°C) til boligoppvarming, må man ha store varmeflater. Gulvvarme er en effektiv og enkel oppvarmingsmetode som er godt egnet i denne forbindelse. I lavenergiboliger er det forutsatt at det brukes yttervegger og vindustyper med lav U-verdi. "Kaldras" fra kalde vegger og vindusflater kan ellers være et problem ved gulvvarmeanlegg.

Det finnes også radiator- og konvektortyper som kan utnytte vann med relativt lav temperatur (50–60°C). For at disse ikke skal bli for store og kostbare og dermed vanskelig å plassere, må varmebehovet være lavt. Direkte luftoppvarming med lavtemperaturvarme er derimot mindre egnet da det krever relativt store anlegg.

For å oppnå en temperatur på det varme forbruksvannet på minimum 55 °C, kan elektrisitet tilføres i perioder med lave vanntemperaturer. For å forhindre bakteriedannelse i vannvarmeren kan det være en fordel om temperaturen i perioder ligger på minimum 60 °C. For å begrense effektbehovet og samtidig redusere varmetapet er det en fordel å bruke en dobbeltbeholder som vist i Bilag 1. Tilskuddet av elektrisk energi skal sørge for at man alltid har et tilstrekkelig forråd av varmt forbruksvann. Energien til oppvarming av "lavtemperaturvannet" i hovedtanken kan komme fra flere energikilder, også via elkolbe i beredertanken. Hovedtanken kan evt. også være utstyrt med en elkolbe. Dette gjør det mulig å utnytte tilfeldig kraft. Totalt beredervolum bør være 300 – 500 liter som svarer til 2–3 døgns forbruk av varmt vann.

Det "grå" avløpsvannet holder en gjennomsnittstemperatur på 30 – 35 °C, og kan brukes som tilskudd til gulvvarmeanlegget i tillegg til forvarming av det varme forbruksvannet. Det finnes også vedovner som kan produsere varmtvann og er godt egnet å bruke i vinterhalvåret da man kan utnytte tilleggsvarmen. Med et større varmelager kan man effektivt lagre overskuddsvarmen fra vedfyringen og dermed få en bedre utnyttelse av brenselet. Dette er spesielt viktig i lavenergiboliger der man ellers lett får problemer med overtemperaturer.

Ved å inndeile boligen i forskjellige temperatursoner kan det i perioder være behov for en forsert varmetilførsel. Tilsvarende forhold vil man ha i rom med hurtig skiftende varmebehov. Da vannbårne varmeanlegg f.eks. gulvvarme generelt vil være relativt varmetregt og mer komplisert å regulere, kan et forsert varmebehov løses ved å kombinere gulvvarme og elektriske panelovner eller vannbaserte konvektorer som hurtig kan slås på og av. Gulvvarmeanlegget står da for grunnvarmen i

boligen.

Da man alltid vil holde noe høyere temperaturer på bad og WC, er det en fordel at disse rommene er sentralt plassert i boligen. Denne overtemperaturen tapes derfor ikke ut av ytterveggene, men kan tilføres de omliggende rom som en grunnvarme. Det kan da være en fordel å begrense luftmengden som passerer badet og spesielt fra rom med lavere temperaturer. Man vil dermed også kunne redusere ventilasjonstapet fra badet. Dette kan oppnås ved at flere rom (soverom) utstyres både med til- og fraluftsventiler. Det kan være en fordel å ha en spalte over baderomsdøren for å forhindre trekk i gulvnivå.

Varmtvannet kan produseres lokalt i boligen ved hjelp av solvarme, varmepumper, el etc. eller tilføres i form av fjernvarme fra en lokal energisentral eller energiverk.

4.1 Lavtemperatur varmeanlegg, gulvvarme

I oppholdsrom bør gulvets overflatetemperatur ikke være høyere enn 26 - 27 °C ved dimensjonerende utetemperaturer. For at et gulvvarmeanlegg skal betegnes et lavtemperatursystem og dermed kunne utnytte lavest mulige vann temperaturer og redusere varmetapet til et minimum, er gulvkonstruksjonen meget viktig. For det første bør rørene legges i godt ledende masser f.eks. betong for å få en best mulig varmeavgivelse fra rørene og en god varmfordeling i gulvet, fig. 4.1 a.

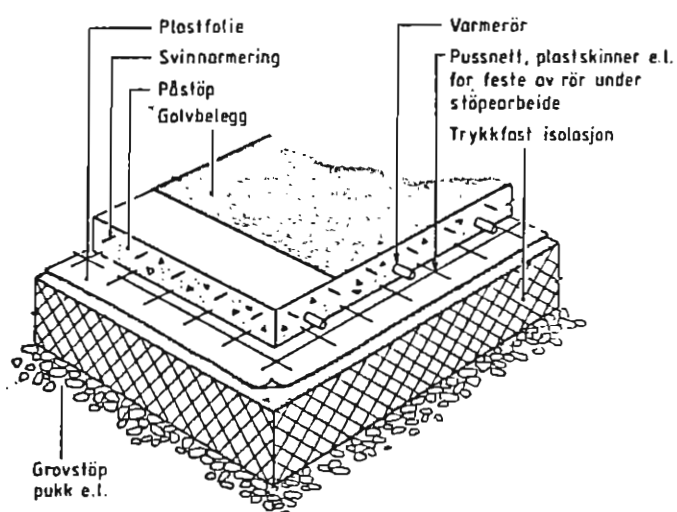


Fig. 4.1 a. Gulv på grunnen med varmerør i påstøp

Til tross for bruk av varmfordelingsplater i aluminium, fig.

4.1 b, vil gulvvarmeanlegg i trebjelkelag vanligvis kreve høyere vanntemperaturer enn gulvvarme i betonggulv. Kostnadene ved å legge varmerørene i trebjelkelag med varmfordelingsplater er omtrent de samme som å legge kablene i påstøp. Da varmeavgivelsen fra varmerørene er bedre når disse legges i påstøp over trebjelkelaget, vil vi anbefale denne løsningen. Man oppnår dermed også andre fordeler som en døgnutjevning av temperaturen.

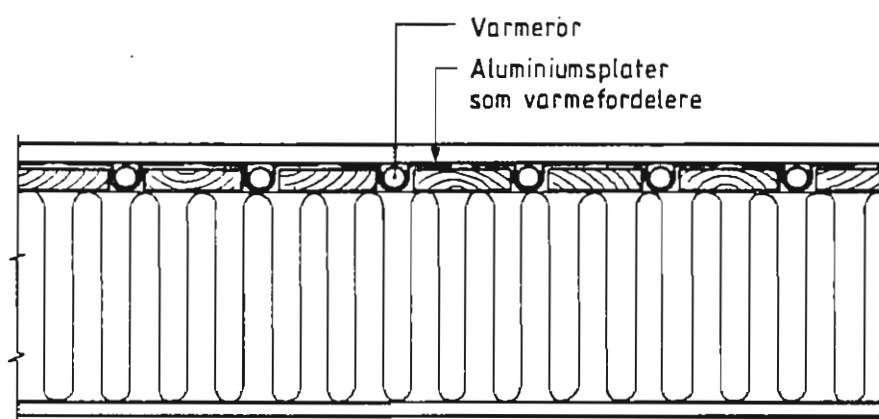


Fig. 4.1 b. Prinsippskisse. Varmerør i trebjelkelag med bruk av varmfordelingsplater i aluminium

Generelt er det viktig for å kunne holde lave temperaturer at gulvbelegget har minst mulig varmemotstand. Samtidig bør ikke gulvbelegget i vanlige oppholdsrom ha for høy temperaturledningsevne f.eks. fliser el. Gulv i oppholdsrom med gulvvarme bør være behagelig å gå på uten oppvarming. Egnede gulvbelegg er 16 mm parkett, 4 mm kork, etc.

I baderom der man vil ha høyere gulvtemperaturer 30-32 °C er det derimot gunstig å bruke fliser, vinylbelegg el. Dette gjør at man totalt sett kan holde lavere vanntemperaturer. I tillegg er det viktig spesielt for gulv på grunnen at gulvisolasjonen økes betydelig fra dagens nivå med isolasjonstykkelser på 100 - 200 mm.

En vesentlig kostnad i et gulvvarmeanlegg er rørkostnadene. For et vannbåret gulvvarmeanlegg kan rørene, i motsetning til elektriske varmekabler, legges uten bruk av autorisert personell. I en lavenergibolig der gulvvarmeanlegget representerer en grunnvarme, vil varmebehovet være så

beskjedent at det kreves relativt lite rør med små dimensjoner. Ved å velge et riktig leggemønster for rørene kan rørmengden og dermed kostnadene reduseres i betydelig grad. En god varmfordeling over gulvflaten oppnås f.eks. ved en kombinasjon av et spiral og "S" mønster. Turvannet føres først til sonen ved yttervegger i et spiralmønster, og deretter legges tur og returrøret ved siden av hverandre i et "S"-mønster, fig 4.1 c.

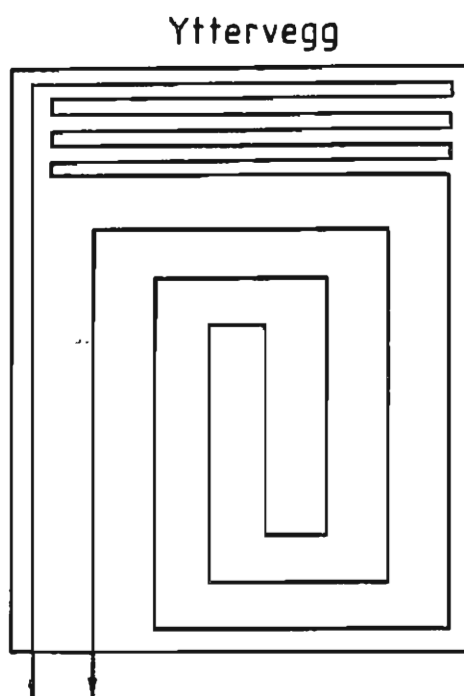


Fig. 4.1 c. Kombinert spiral- og "S" mønster gir en god varmfordeling. Turvannet tilføres først sonen ved yttervegg med størst varmetap. I denne sonen kan varmerørene legges tettere enn i det øvrige gulvet

4.1.1 Rørmaterialer

I dag er det nesten utelukkende brukt plastrør eller plastrør med aluminiumskjerne i vannbårne gulvvarmeanlegg. En stor fordel med plastrør er at de har lav kostnad og ikke er utsatt for korrosjon eller korrosjonsutmatting, som er den vanligste skadeårsaken for metalliske rør. Da plastrør er mer eller mindre diffusjonsåpne for oksygen og vanndamp, bør varmevekslere være utført i kobber eller rustfritt stål. Dette til tross for at det leveres plastrør med en såkalt diffusjonssperre som forbedrer plastrørenes egenskaper når det gjelder oksygendiffusjon. Plastrørene leveres i store lengder så man kan unngå skjøter i gulvet.

Da gulvvarmeanlegg i lavenergiboliger med god varmeavgivelse fra rørene (rør i betong), ikke har vanntemperaturer over 40

°C, kan det brukes flere typer plastmaterialer. Fig. 4.1.1 viser langtidsegenskaper ved 60 °C for forskjellige typer plastrør som kan brukes i gulvvarmeanlegg. Det fremgår her at levetiden er tilfredstillende for de fleste plastrørstyper som blir brukt i gulvvarmeanlegg.

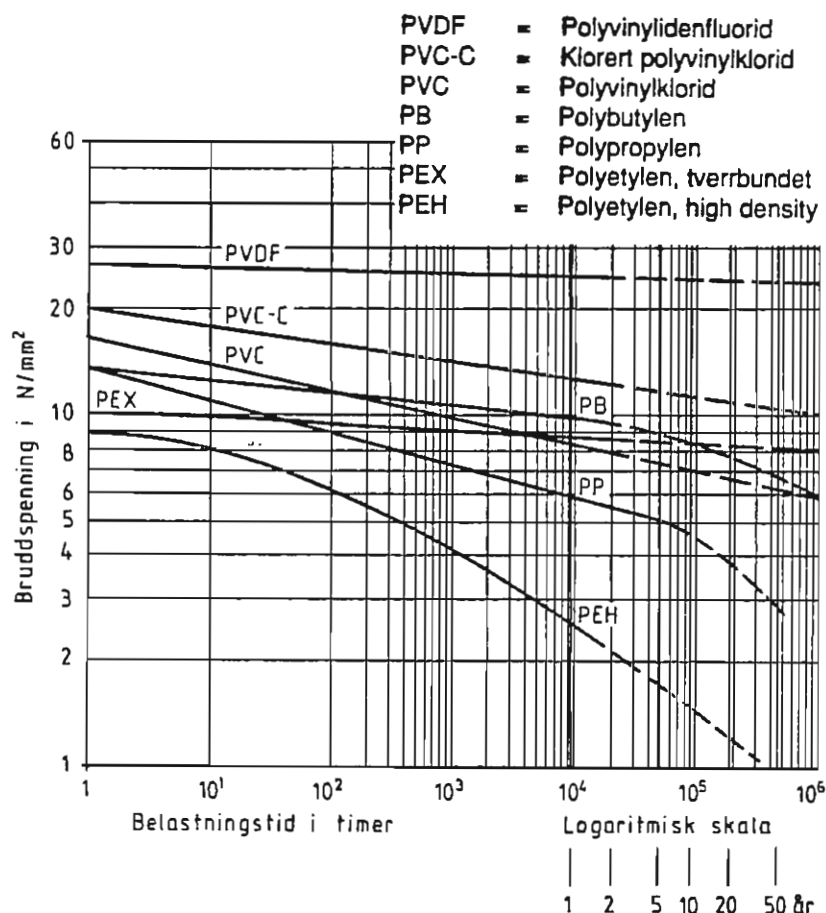


Fig. 4.1.1 Langtidsegenskaper for forskjellige plastrør ved 60 °C. Rørspenningen i vanlige gulvvarmeanlegg vil ligge i området 1.1 - 1.4 N/mm².

4.1.2 Avgitt effekt fra gulvet

Varme avgis fra gulvet ved konveksjon og stråling. Den varmemengden som avgis ved stråling, er bestemt av differansen mellom gulvets overflatetemperatur og omgivelsestemperaturen på møbler, vegger, vinduer og tak. Romlufttemperaturen, som vil være en middelværdi, ligger vanligvis på 20 °C. Den konvektive delen av varmeavgivelsen er bestemt av varmeovergangstallet mellom gulvoverflaten og romluften. Dette varmeovergangstallet avhenger av luftbevegelsen ved gulvet og gulvtemperaturen. I godt isolerte småhus med begrensede vindusflater og oppdrifts-ventilasjon foregår varmeavgivelsen fra gulvet ved små

temperaturdifferanser ved stråling og naturlig konveksjon, se tabell 4.1.2.

Tabell 4.1.2 Varmeavgivelse fra gulvoverflaten ved stråling og naturlig konveksjon. Gjennomsnittstemperaturen i rommet er 20 °C.

Gulvtemp.	Δt	Stråling E (W/m ²)	Konveksjon q (W/m ²)	SUM E + q (W/m ²)	Varmeovergangstall (Ekvivalent) (W/m ² K)
(°C)					
21	1	5.2	1.9	7.1	7.1
22	2	10.4	4.8	15.2	7.6
23	3	15.6	8.1	23.7	7.9
24	4	21.0	12.0	33.0	8.3
25	5	26.3	16.0	42.3	8.5
26	6	31.8	20.4	52.2	8.7
27	7	37.2	25.2	62.4	8.9
28	8	42.8	30.2	73.0	9.1
30	10	54.0	41.0	95.0	9.5
32	12	65.5	52.0	117.5	9.8

Det fremgår av tabellen at ved naturlig konveksjon (turbulente forhold), vil varmeavgivelsen ved konveksjon ved små temperaturdifferenser bare utgjøre halvparten av strålingsbidraget, eller 1/3 av total varmeavgivelse fra gulvet. En grads temperaturøkning på gulvet, gir et varmetilskudd til rommet på ca. 10 W/m². Dette varmetilskuddet er tilnærmet lik varmetapet til grunnen fra et godt isolert gulv under dimensjonerende forhold.

Målinger viser imidlertid at man ved lave utetemperaturer kan få et vesentlig høyere varmeovergangstall enn angitt i tabellen. Ved hvilken temperatur dette ev. inntreffer, er avhengig av hvor godt boligen er isolert og ventilasjonsgraden. Et høyere varmeovergangstall skyldes en overgang til en mer tvunget konveksjon på grunn av "kaldras" fra kalde vinduer og vegger eller økt luftbevegelse i rommet på grunn av mekanisk ventilasjon. I lavenergiboliger med høyisolerte vinduer og yttervegger kan man bruke verdiene i tabellen.

4.1.3 Gulvet brukt til avkjøling av rommet

Hvis gulvet har lavere temperatur enn omgivelsene, blir rommet nedkjølt. Gulvets kjøleytelse vil være noe mindre pr. grad temperaturdifferanse mellom gulvet og lufttemperaturen enn ved oppvarming. Dette skyldes noe mindre effektiv konvektiv varmeoverføring. For hver grad gulvet har lavere temperatur enn omgivelsene, vil gulvets kjøleeffekt være ca. 25 % lavere enn verdiene ved oppvarming, se tabell 4.1.2. Skal betonggulvet dempe temperaturstigningen på solrike sommerdage, bør gulvbelegget ikke være for tykt. Man bør ikke bruke større tykkelse enn 4 mm kork, 6 mm teppe eller 16 mm parkett. Som vil skal se kan man på en relativt enkelt måte pumpe kaldt vann i rørnettet i gulvet ved større kjølebehov. Dette kan være en fordel for relativt lette lavenergiboliger med store vindusflater der overtemperaturer kan være et stort problem.

4.1.4 Varmebehov

Effektbehovet til oppvarming er avhengig av stedets klimaforhold, husets varmeisolering og tetthet, varmegjenvinning av ventilasjonsluften etc. Figur 4.1.4 angir veiledende effektbehov som varmeanlegget skal avgi for å varme opp en enebolig, avhengig av dimensjonerende utelufttemperatur og isolasjonsstandard. Det fremgår av fig. 4.1.4 at ved en dimensjonerende utelufttemperatur på -20°C vil effektbehovet i en lavenergibolig reduseres fra ca. 60 W/m^2 , for en bolig isolert etter byggeforskriftene, til ca. 33 W/m^2 . Av tabell 4.1.2 viser at dette kan oppfylles når overflatetemperaturen på gulvet er 24°C . Dette gjelder som et gjennomsnitt for hele boligen. I praksis er det nødvendig å varmebehovsberegne hvert enkelt rom for å fastlegge mengden av rør som er nødvendig. Når dimensjonerende overflatetemperatur på gulvet reduseres fra 27.0°C til 24.0°C , betyr dette at rørene kan legges med større rørvstand. Dette gir kortere rørlengder og lavere kostnader.

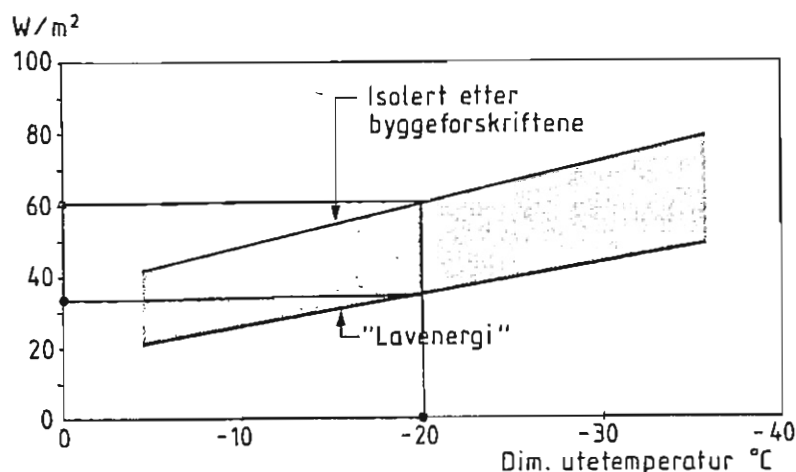


Fig. 4.1.4 Effektbehov for oppvarming av eneboliger (ca. 100 m^2) med normal isolering (byggeforskriftenes krav) og lavenergiboliger.

4.1.5 Gulvvarmeanleggets varmetregghet

Hvis varmerørene legges i betong kan det være en betydelig masse som skal varmes opp. Figur 4.1.5 viser tidsforsinkelsen mellom påtrykt og avgitt effekt som funksjon av tykkelsen på betongplaten.

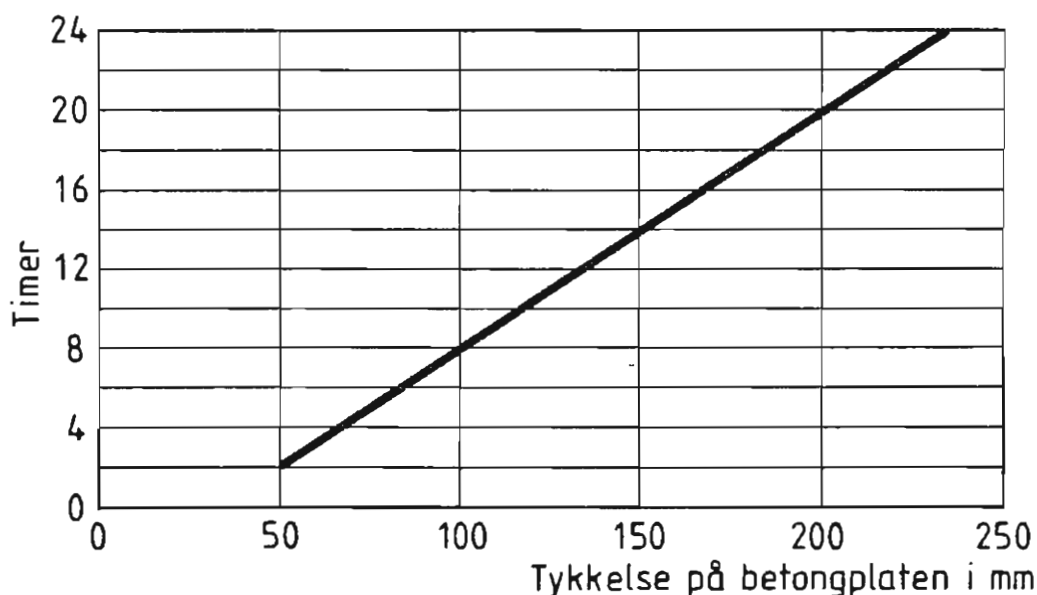


Fig. 4.1.5. Tidsforsinkelsen mellom påtrykt og avgitt effekt i betonggulv som funksjon av tykkelsen

Det fremgår her at hvis betongplaten er 50 mm tykk, blir tidsforsinkelsen på ca. to timer. Med en 100 mm tykk plate øker denne forsinkelsen til åtte timer. Gulvvarmeanleggets varmetregghet reduseres også ved å begrense vannmengden i systemet.

Som vi senere vil vise betyr varmetregheten mindre for godt isolerte lavenergihus med beskjedne effektbehov.

5.0 TILTAK FOR Å SPARE ENERGI

Ideelt sett bør energibesparende tiltak ikke nødvendigvis føre til økte byggekostnader. Dette kan være tilfelle for flere tiltak som går på bygningens utforming og planløsning med mulighet for soneinndeling og utnyttelse av passiv solvarme og detaljløsninger som sikrer uønskede luftlekkasjer. Det er viktig at tak- og veggkonstruksjoner ikke har kuldebroer ved f.eks. bruk av I-profiler, forbedret bygningsisolasjon, bedre vinduskonstruksjoner etc., mens andre tiltak forutsetter mer kompliserte tekniske systemer.

Det er en fordel at de tiltak som settes i verk er mest mulig uavhengig av brukeren av boligen. Praksis viser ofte at man ikke oppnår de potensielle mulighetene for energisparing som ligger i konstruksjonen. Dette kan skyldes flere forhold. Ofte har man ikke lagt nok vekt på brukeren som må kompensere for et dårlig inneklima med tiltak som øker energiforbruket. Systemene er for kompliserte, og krever stadig tilsyn for å sikre en optimal drift. Tradisjonelt lave energipriser har også gjort at man er lite bevisst når det gjelder forhold som kan føre til energisløsing. Energisparetiltak bør derfor følges opp med en bruksanvisning for boligen om hvordan man i praksis skal oppnå den forventede besparelse. Det vil være urealistisk å forutsette at man i nærmeste fremtid vil ha smarte hus som automatisk sikrer et lavt energiforbruk.

Som for byggekostnader er energisparing summen av mange små bidrag som tilsammen gir en tilfredstillende energireduksjon.

Av forhold som kan ha påvirkning på energiforbruket kan det nevnes:

1. Bygningens geometri og terrengtilpassing
2. Bedre utnyttelse av solenergien
3. Glassoverdekkede arealer, bod, vindfang som buffersone
4. Inndeke boligen i klimasoner, isolerte innervegger
5. Varme rom som bad, WC, kjøkken konsentrert og sentralt plassert i boligen
6. Vannbasert varmfordeling, lavtemperaturvarme, varmelager

7. Tunge gulv og bjelkelag for døgnutjevning av temperaturen
8. Unngå alle former for kuldebroer, bærende yttervegger uten installasjoner, bruk av I-profiler etc.
9. Effektive styringssystemer for temperaturregulering
10. Energisparende lysarmatur og husholdningsutstyr
11. Anlegge lokale energisentraler for utnyttelse av ulike energikilder
12. Redusere transmisjonsvarmetap fra gulv, vegger, tak
13. Bruke høysisolerte vinduer
14. Kontrollert lufttetthet
15. Balansert ventilasjon med varmegjenvinning
16. Varmegjenvinning fra "grått avløpsvann"
17. Bruk av varmepumper

I tillegg kan man tenke seg å bruke transparente isolasjonsmaterialer i bygningskonstruksjonene for å utnytte solenergien bedre. Man kan også bruke en form for dynamisk isolering der ventilasjonsluften trekkes gjennom tak og veggisolasjonen for å gjenvinne deler av transmisjonsvarmetapet og dermed øke det totale varmegjenvinningspotensiale. Dette er imidlertid løsninger som i liten grad er utprøvd systematisk i vanlige boliger i Norge.

6.0 TILTAK FOR Å REDUSERE KOSTNADER

For totalt sett å kunne produsere en lavenergibolig som samtidig har en lav kostnad, må energisparende tiltak inngå i som ledd i en rasjonell boligproduksjon. Dette kan omfatte prefabrikkasjon av vegg- og takelementer der bærende vegger ikke har installasjoner. I tillegg bør alle tekniske installasjoner konsentreres i en sentral kjerne der elementer kan prefabrikeres, fig. 6.0 a.

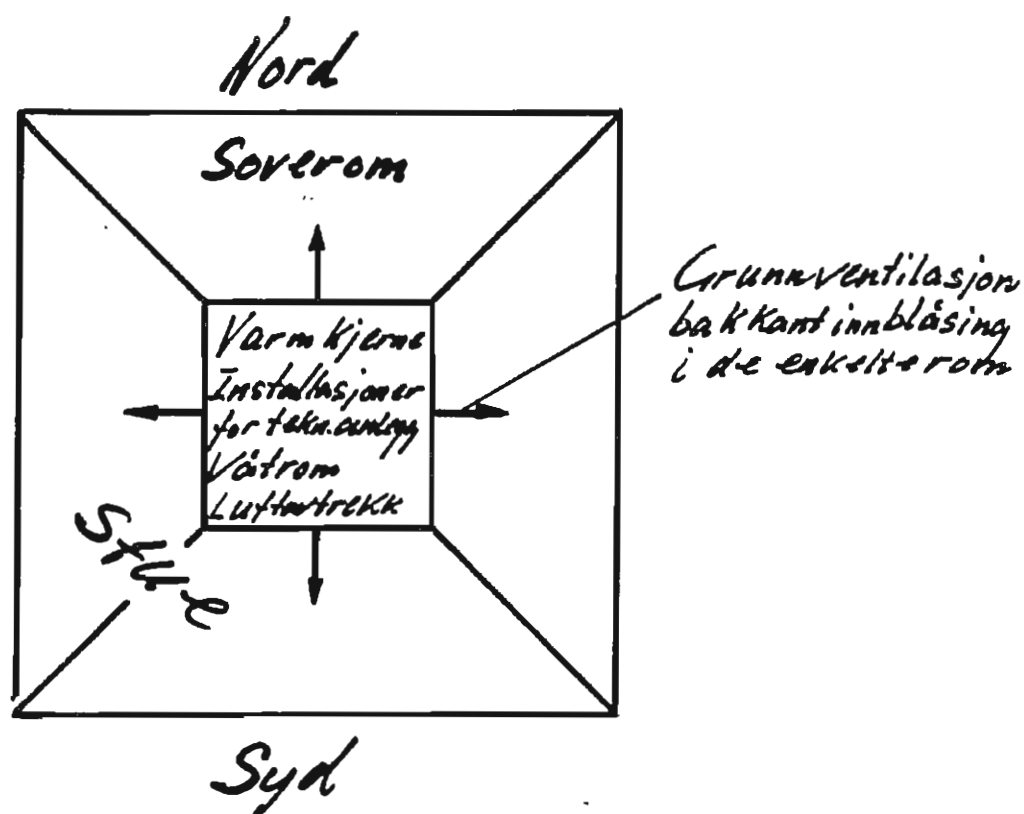


Fig. 6.0 a. Prinsippskisse. Planløsning med en sentralt beliggende varm kjerne med plassering av installasjoner og våtrom. Bakkantinnblåsing i de enkelte rom gir enkel kanalføring. Soverom plasseres mot nord og har isolerte innervegger

En konsentrasjon av installasjonene vil også forenkle innstikkene av de tekniske anleggene i boligen, fig. 6.0 b. Alle tekniske installasjoner plasseres i et teknisk rom med inspeksjonsluke i gulvet. I tillegg til å redusere materialkostnadene på grunn av min. kanal og rørlengder, vil byggetiden kunne reduseres. Samtidig vil driften av systemene bli enklere og medføre at man på en enkel måte oppnår vannskadesikre løsninger.

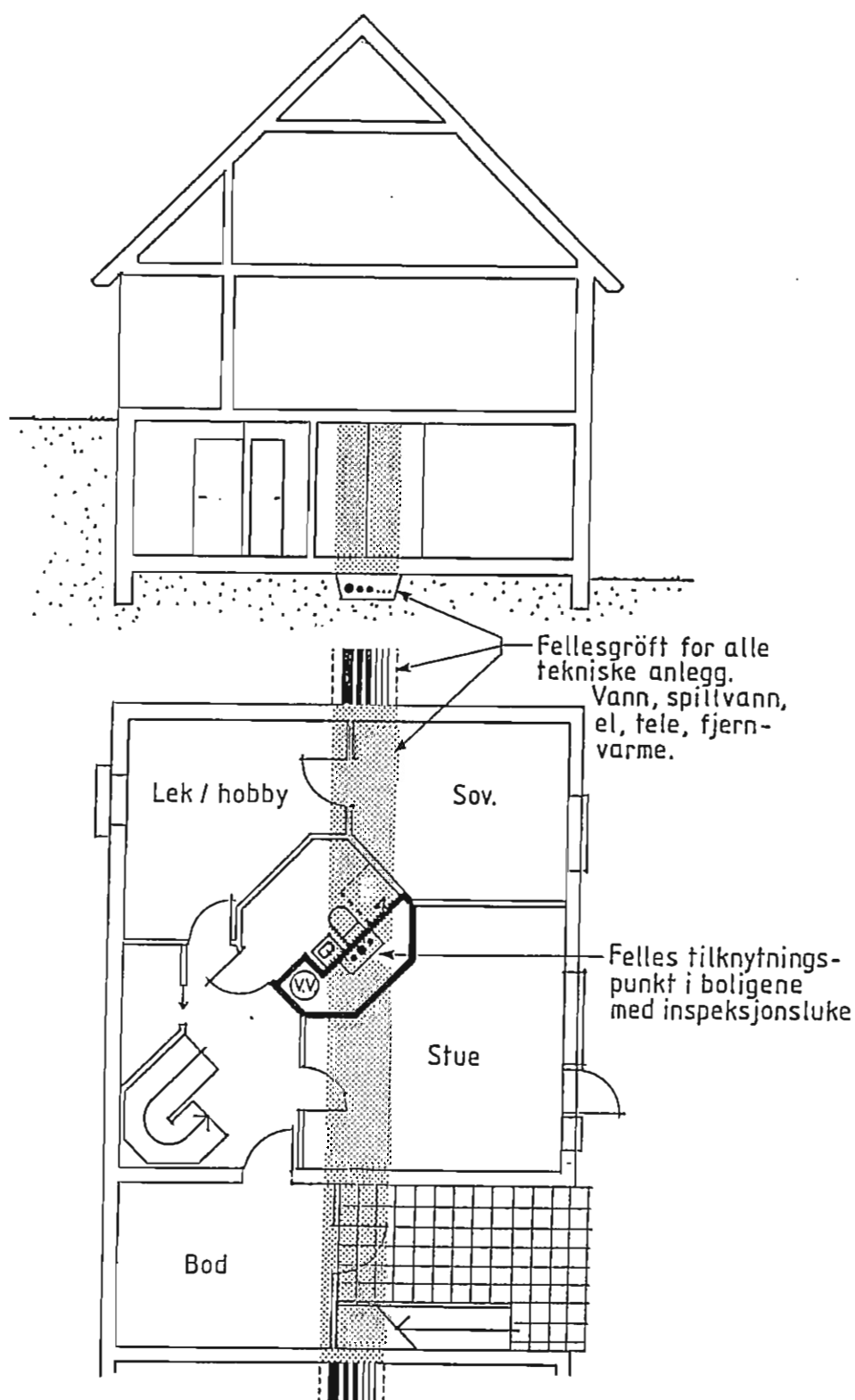


Fig. 6.0 b. Eksempel på planløsning med eget installasjonsrom i sokkeletasjen der alle tekniske anlegg kommer inn i boligen. Installasjonsrommet er utstyrt med inspeksjonsluke i gulvet. Alle våtrom og spesielt varme rom f.eks. bad er sentralt plassert i boligen.

For å redusere kostnadene bør en solfanger inngå som en del av takkonstruksjonen. Det bør også vurderes om det er hensiktsmessig å plassere en egen energisentral i området. Ved å la solfangeren tilknyttes flere boliger vil man kunne utnytte større deler av solenergien når denne foreligger, selv om dekningsbidraget til energiforsyningen reduseres når solfangerarealet blir mindre.

Det bør også vurderes om et evt. varmelageret kan inngå som en del av gulvvarmeanlegget eller gulvkonstruksjonen.

7.0 EKSEMPEL PÅ LAVENERGIBOLIGER

Prospekt og dokumentasjon av en lavenergibolig er vist i Bilag 1. Målet har her primært vært å redusere energiforbruket mest mulig med bruk tilgjengelig teknologi. De valgte systemløsninger er derfor ikke optimalisert når det gjelder kostnader.

For referanseboligen på 112 m², Bilag 1, er installasjonsrommet av plasshensyn plassert i 2.etasje. For en mer vanlig boligtype med sokkeletasje eller kjeller, vil en naturlig plasseringen av installasjonsrommet være i underetasjen, fig. 6.0 b. Alle oppstikk for de tekniske anleggene kommer da inn i boligen i tilknytning til dette installasjonsrommet. Dette rommet er utstyrt med en inspeksjonsluke i gulvet slik at det er mulig å holde kontroll med rørskjøtene. Denne utførelsen reduserer lengden på stikkledningene til et minimum. Felles avløpsledning under boligene tjener samtidig som en bunnledning.

7.1 Bebyggelsesplanen

Husene er plassert og forskjøvet slik at alle får sol mot syd og utsikt mot vest. De tekniske anleggene legges grunt under boligrekkene med ett oppstikk i hver bolig. Boligene er kjedehus med et fleksibelt mellomledd som er glassoverdekket mot syd som reduserer ytterveggflaten og dermed varmetapet.

8.0 OPTIMALISERING OG VIDEREUTVIKLING AV LAVENERGIKONSEPTET

8.1 Gulv på grunnen

Gulv på grunnen med ringmur er den mest brukte fundamenteringsmåte for småhus i dag. Det kan være i form av kjellerløse boliger eller boliger med sokkeletasje i mer hellende terreng. Figur 8.1 a. viser en tradisjonell utførelse av en gulv på grunnen konstruksjon. Målet må være at varmetapet fra gulvet over året ikke skal være større enn for vegger og tak, altså en ekvivalent U-verdi på 0.1 - 0.2 W/m²K.

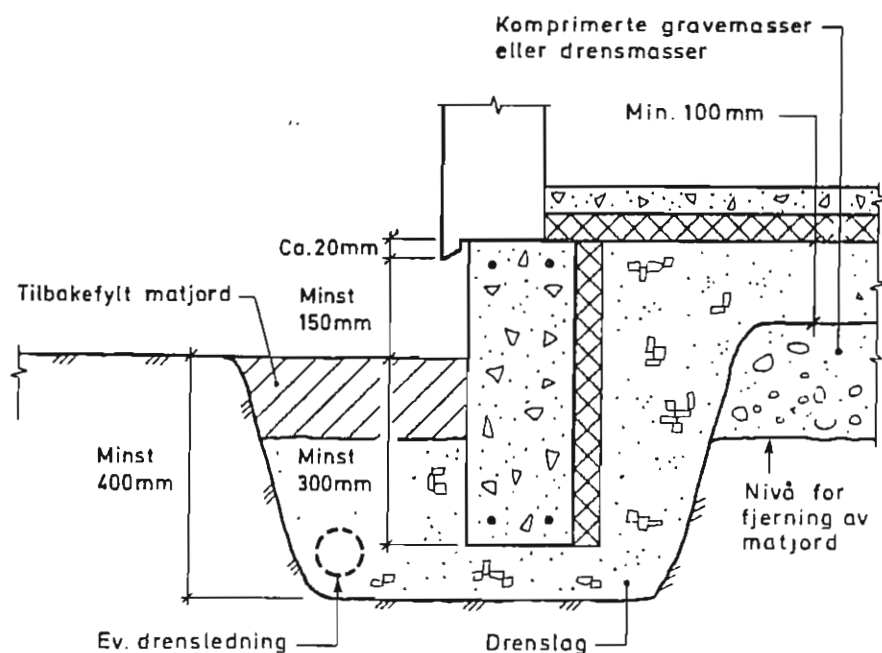


Fig. 8.1 a. Gulv på grunnen med isolert ringmur på jordtomt. Vanlig utførelse med 50 mm isolasjon i gulv og ringmur

Da gulvet vil ha et varmetap til grunnen over hele året vil isolasjonstykkelsen (ekvivalent U-verdi) være bestemt av tilskudd av passiv solvarme i sommerhalvåret. I motsetning til en vegg- og takkonstruksjon vil det være rommets varmebalanse over året som er bestemmende for gulvisolasjonen og ikke effektbehovet under dimensjonerende forhold. På grunn av relativt høye jordtemperaturer, vil varmetapet fra gulvet til grunnen være lavt i forhold til en vegg- og takkonstruksjon isolert etter dagens byggeforskrifter. Dette har ført til at man bruker vesentlig mindre isolasjon i gulvet.

Normal tykkelse på gulvisolasjonen i Osloområdet er 50 mm, med

en anbefalt økning av isolasjonstykkelsen med 20– 30mm når det installeres gulvvarme. For rom som ikke har solvendte vinduer og liten varmeutvekslingen med den øvrige boligen, vil dette kunne føre til et betydelig energiforbruk under og utover en normal fyringssesong. Gulvisolasjonen bør derfor dimensjoneres i hvert tilfelle avhengig av rommet varmebalanse over året. Som basisisolasjon uavhengig av konstruksjonen, bør man ta utgangspunkt i en minste tykkelse på gulvisolasjonen, f.eks. 100 mm.

Det er grunn til å spørre om en isolasjonstykkelse på 50 mm i gulv og ringmur er tilfredstillende og i overensstemmelse med byggeforskriftenes krav. Byggeforskriftene krever at U-verdien for ytre randsone på 1.0 m eller hele gulvet skal høyst være $0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$.

8.1.1 Reelt varmetap fra gulvet sett i relasjon til NS 3031

Fig. 8.1.1 viser gjennomsnittlig varmetap fra gulvet over året for en enebolig med kvadratisk grunnflate på 74 m^2 . Boligen har en gulv på grunnen fundamentering, og er plassert på blandingsjord. Gulvisolasjonen er 50 og 100 mm tykk. Som beregningsgrunnlag er det brukt normale temperaturer for Blindern. Det er tatt hensyn til at varmestrømmen fra gulvet til grunnen for småhus er tilnærmet tredimensjonal.

I følge NS 3031 kan bygningens energibehov beregnes ut fra beregningsperioder på en måned eller ett år ved å bruke gjennomsnittlige verdier for lufttemperaturen. På grunn av gulvkonstruksjonen og grunnens varmetreghet, fremgår det av fig. 8.1.1 at man får en faseforskyvning når det gjelder maksimale varmetap fra gulvet i forhold til utelufttemperaturen på ca. 1 1/2 måned. Samtidig vil hurtige svingninger i utelufttemperaturen ha liten innflydelse på varmetapet fra gulvet. Dette betyr at ved det tidspunkt som tradisjonelt defineres som fyringssesongens slutt i begynnelsen av mai måned, vil varmetapet fra gulvet være ca. 90% av varmetapet under dimensjonerende forhold. På dette tidspunktet vil større deler av gulvet og ikke bare randsonen ha en lav temperatur. Minst varmetap fra gulvet og dermed de høyeste gulvtemperaturene vil man ha i september når fyringssesongen starter. Det fremgår også av fig. 8.1.1 at man har et betydelig varmetap til grunnen over hele året.

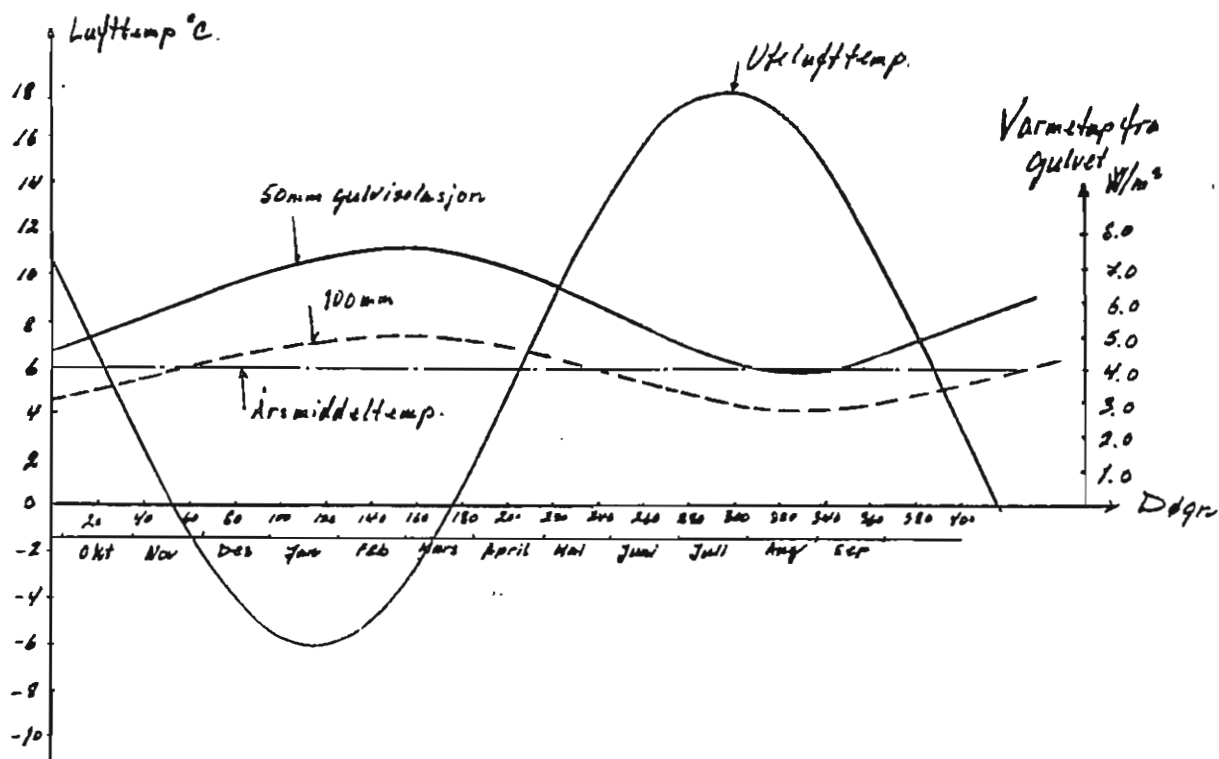


Fig. 8.1.1. Gjennomsnittlig varmetap fra et gulv på grunnen over året med 50 og 100 mm isolasjon. Det er regnet med normal klima for Blinderen (årsmiddeltemperaturen er 6.0 °C og frostmengden 12.000 h°C).

8.1.2 U-verdi for gulvkonstruksjonen, energiberegninger

Da varmetapet fra gulvet ikke følger utelufttemperaturen, vil det være enklest å se på forholdene over året når man skal anslå en ekvivalent U-verdi for gulvet. Av fig. 8.1.1 kan midlere varmetap over året, for den aktuelle gulvkonstruksjonen med 50 mm isolasjon, bestemmes til ca. 6.0 W/m². En ekvivalent midlere varmegjennomgangskoeffisient, U-verdi for gulvet over året er da gitt ved uttrykket:

$$U = Q/\Delta t = 6.0/(20 - 6) = 0.42 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (1)$$

Q = Midlere varmetap pr. m² over året (W/m²) Δt = Temp.diff. mellom årsmiddeltemp. for uteluften (6.0 °C) og romluften (20 °C).

Hvis man øker gulvisolasjonen til 100 mm vil etter fig. 8.1.1 midlere varmetap over året være ca. 4.0 W/m². Dette gir en ekvivalent U-verdi på 0.29 W/m²K. Når reelt varmetap fra gulvet legges til grunn, og en ser på energiforbruket over året som angitt etter NS 3031, bør en nær doble isolasjonstykkelsen for

å kunne tilfredstille byggeforskriftene.

Etter NS 3031 bestemmes total varmemotstand for en gulv på grunnen konstruksjon etter følgende uttrykk:

$$R = R_j + R_t$$

R_j = Grunnens gjennomsnittlige varmemotstand R_t = Samlet varmemotstand i konstruksjoner mot eller i grunnen

Verdier for R_j under gulv på grunnen er angitt i en tabell for forskjellige soner og grunnmaterialer. Ved å gå inn på den konkrete gulvkonstruksjonen som vurderes, bestemmes gulvets U-verdi etter NS 3031 til 0.26 W/m²K. Altså et relativt stort avvik i forhold til de U-verdiene som er fastlagt ut fra reelle varmetapsberegninger over året.

Hva skyldes dette avviket og har det noen praktisk betydning når det gjelder å finne frem til riktig gulvisolasjon?

I grunnlaget for NS 3031 er det brukt en todimensjonal beregningsmodell som forutsetter en uendelig lang bygning. Videre er det vurdert varmetapet over en bestemt fyringsperiode. Man har da sett bort fra det forhold at gulvet har et betydelig varmetap over hele året. Da NS 3031 bruker utelufttemperaturen direkte som klimabelastning, vil man få problemer med å bestemme et korrekt varmetap fra gulvet som ikke følger utelufttemperaturen. Det er derfor dårlig overensstemmelse mellom beregningsmetoden angitt i NS 3031 og korresponderende U-verdi.

Det mest korrekte er å justere utelufttemperaturen og dermed klimagrunnlaget, så dette blir i overensstemmelse med varmetapet, og benytte en fast U-verdi. I NS 3031 brukes lufttemperaturen direkte samtidig som U-verdien holdes fast. Dette må nødvendigvis bli galt da "U-verdien" for gulvet under disse forutsetningene vil variere over hele året. Feilen blir enda større når man bestemmer U-verdien for gulvet etter NS 3031 og bruker disse verdiene i mer dynamiske modeller for effekt og energiberegninger. Disse simuleringsmodellene baseres ofte på timeverdier for klimadata.

Det at gulvet har et betydelig varmetap over hele året kan kreve tilskudd av varmeenergi også i perioder utenfor fyringssesongen. Dette kan være aktuelt for de deler av boligen som ikke har solvendte vinduer som kjellerstuer etc. og liten varmetveksling med den øvrige boligen. Det er derfor vanskelig å lage regler som skal gjelde generelt for isolering av alle

gulv på grunnen konstruksjoner. Både varmetapet og energibehovet vil være konstruksjons- og bruksavhengig.

8.1.3 U-verdi for gulvkonstruksjonen, effektberegninger

Når det gjelder å bestemme dimensjonerende effektbehov etter NS 3031, skal man multiplisere de gjennomsnittlige varmemotstandsverdiene som er angitt for grunnen med to. Dette i erkjennelse av at hurtige temperatursvingninger har liten innvirkning på varmetapet fra grunnen. Hvis denne prosedyren gjennomføres for den aktuelle gulvkonstruksjonen med 50 mm isolasjon, fastlegges U-verdien til $0.19 \text{ W/m}^2\text{K}$. Det forutsettes da at laveste temperatur i en tredøgnsperiode legges til grunn for effektberegningen. Tilsvarende vil U-verdien for gulvet med 100 mm isolasjon etter NS 3031 være $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$.

For å bestemme dimensjonerende effektbehov i regneeksemplet, er det brukt en temperaturfordeling over året som gir maksimal frostmengde. Igjen er det brukt middeltemperaturen over en femdøgnsperiode. For å få sammenlignbare verdier med NS 3031, er U-verdiene fastlagt ved å bruke laveste middeltemperaturen i en tredøgnsperiode som for Blindern er $-20.0 \text{ }^\circ\text{C}$. Når isolasjonstykkelsen er henholdsvis 50 mm og 100 mm, beregnes U-verdien til $0.21 \text{ W/m}^2\text{K}$ og $0.13 \text{ W/m}^2\text{K}$.

I stedet for å justere temperaturgrunnlaget skal man etter NS 3031 foreta en fordobling av jordens varmemotstand. Dette er en prosedyre som vil slå tilfeldig ut avhengig av isolasjonstykkelsen. Når dette ikke gir de store utslagene i dimensjonerende effekt, skyldes det at varmetapet fra gulvet er relativt beskjedent og lite påvirket av hurtige temperatursvingninger. Varmetapet fra gulvet til grunnen svinger vesentlig mindre over året i forhold til varmetapet fra den øvrige bygningskonstruksjonen. Det å doble isolasjonstykkelsen vil bare utgjøre en forskjell på ca. 300 W når det gjelder dimensjonerende varmetap fra gulvet fra en bolig med grunnflate 100 m^2 . Det er ikke primært for å redusere effekttoppene, men energiforbruket at det er lønnsomt å øke gulvisolasjonen.

8.2 Gulv på grunnen med gulvvarme

Det er blitt mer vanlig å installere gulvvarme både i eksisterende boliger og i nybygg. Tidligere var det for det meste baderom som ble utstyrt med gulvvarme. I baderom hvor man ønsker en høy varmekomfort dimensjoneres gulvvarmeanlegget så overflatetemperaturen på gulvet er $30 - 32 \text{ }^\circ\text{C}$. I oppholdsrom bør gulvtemperaturen ikke overstige $26 \text{ }^\circ\text{C}$. Gulvvarmeanlegget kan tilføres varmeenergi fra elektriske varmekabler eller

vannbåren varme. Det er særlig gulvvarmeanleggets bruk av lavtemperaturvarme som er interessant i en energisammenheng, en energi som ellers går tapt.

Temperaturforholdene for et gulv med elektriske varmekabler og vannbåret varme kan være svært forskjellige. Ved vannbåret varme vil man ha en fast øvre temperaturgrense bestemt av vanntemperaturen, mens maksimaltemperaturen for et gulv med varmekabler vil være bestemt av varmeavgivelsen fra gulvet. Gulv med varmekabler kan derfor ha betydelig høyere temperaturer enn 26°C hvis det er dekket med teppe, parkett el.l. Tykkelsen på påstøpen over isolasjonen og overdekningen på varmekablene eller varmerørene, har også betydning for temperaturfordelingen i gulvet og dermed varmetapet. Større overdekning på varmerør og kabler enn 30 – 50 mm bør vanligvis unngås. Dette vil føre til høyere temperaturer i gulvet mot isolasjonen samtidig som anlegget blir mer varmetregt. Økte gulvtemperatur vil direkte føre til et økt varmetap fra gulvet til grunnen.

I oppholdsrom med gulvvarme er gulvvarmeanlegget vanligvis eneste varmekilde. For å kompensere for varmetapet fra gulvet, som fører til lave gulvtemperaturer, er det ikke uvanlig at gulvvarmeanlegget er i drift også i deler av sommerhalvåret. I regneeksemplet har vi antatt en høyeste gulvtemperatur på 26°C under dimensjonerende klimaforhold, og en laveste gulvtemperatur på 22°C . I praksis vil gulvtemperaturen umiddelbart over isolasjonslaget være vesentlig høyere f.eks. $30\text{--}35^{\circ}\text{C}$ under dimensjonerende forhold. Dette vil igjen gi et betydelig større varmetap. Gulvtemperaturen vil forøvrig være avhengig av boligens øvrige varmebehov. Ved å sette den laveste gulvtemperaturen til 22°C har man kompensert noe for varmetap fra baderom der det er vanlig at gulvvarmeanlegget er i drift hele året med relaivt høye gulvtemperaturer. Forøvrig brukes samme eksempel som tidligere, en frittliggende bolig med en kvadratisk grunnflate med sidelengde på 8.6 m på blandingsjord.

8.2.1 Varmetap fra gulv med gulvvarme til grunnen

På grunn av høye gulvtemperaturer er det av avgjørende betydning for varmetapet at man ikke har en kuldebro ved overgangen vegg ringmur, fig. 8.2.1 a.

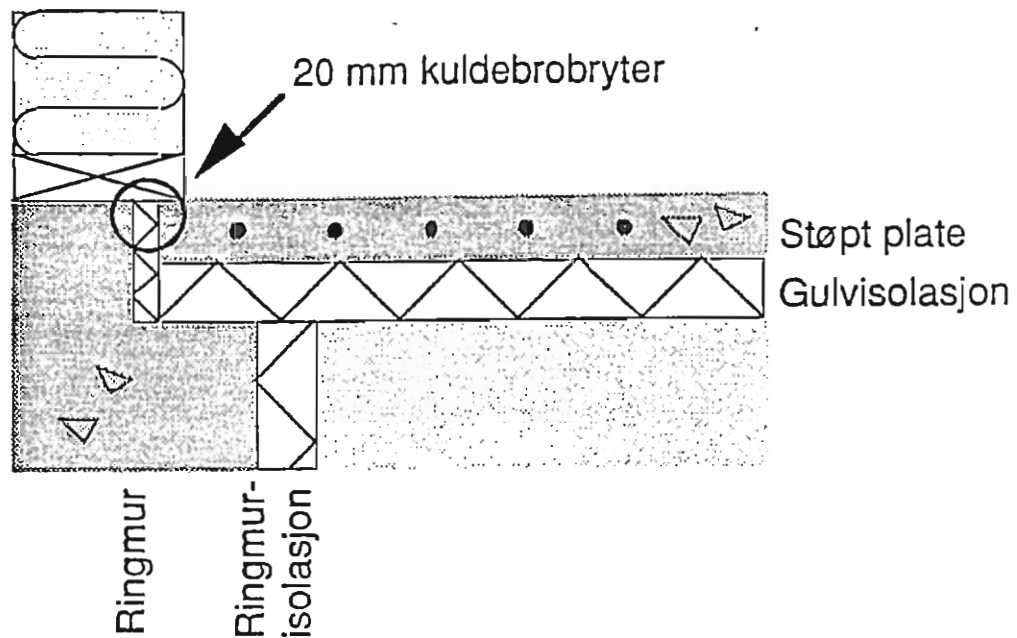


Fig. 8.2.1 a. Uheldig utførelse med en kuldebro ved overgangen vegg ringmur vil gi betydelige varmetap ved bruk av gulvvarme

I referanseboligen Bilag 1, er det brukt en utvendig isolasjon av ringmuren, mens det i fig. 8.2.1 b er brukt en innvendig isolasjon av ringmuren. I begge tilfeller er det brukt I-profiler med en spesiell tettning mellom ringmuren og veggseksjonen.

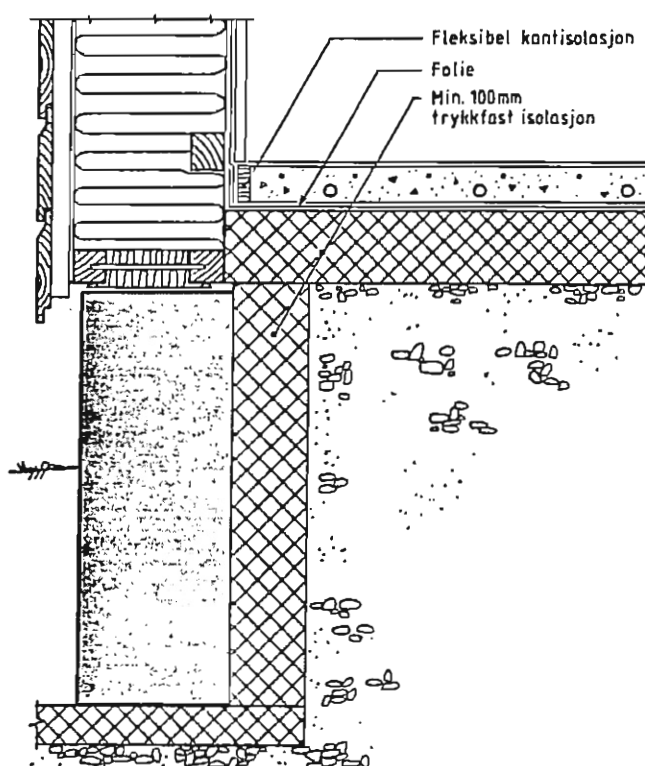


Fig. 8.2.1 b. Betonggulv med innvendig isolert ringmur. Min. isolasjonstykkelse på gulv og ringmurisolasjon er 100 mm

Da gulvvarmeanlegget skal forsyne boligen med tilstrekkelig varme under dimensjonerende klimaforhold, vil faseforskyvningen når det gjelder ekstreme varmetap fra gulvet i forhold til utelufttemperaturen være liten, ca. 10 døgn. På grunn av opplagret varme i sommerhalvåret, vil varmetapet fra gulvet til grunnen, som for gulv på grunnen uten gulvvarme, være minst ved fyringssesongens start i september/oktober. Varmetapet vil da omtrent være det halve av varmetapet under dimensjonerende forhold. Dette er riktig under forutsetning at opplagret varme ikke fjernes på grunn av vannførende lag i grunnen. Det største varmetapet fra gulvet vil man ha i siste halvdel av fyringssesongen. Ved det som tradisjonelt betegnes som fyringssesongens slutt vil varmetapet fra gulvet ligge på ca. 75 % av maksimalverdien.

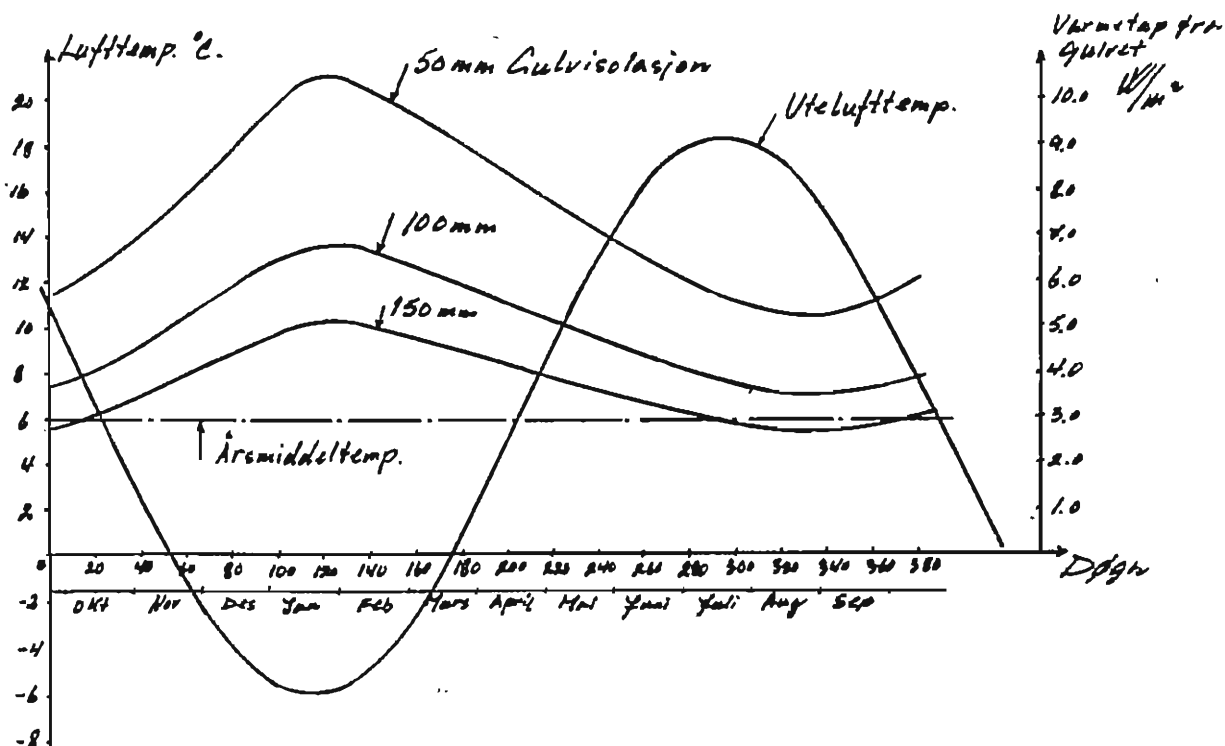


Fig. 8.2.1 b. Gjennomsnittlig varmetap fra et gulv på grunnen med gulvvarme over året med 50, 100 og 150 mm gulvisolasjon. Årsmiddeltemperaturen for luften er 6.0 °C og frostmengden 12.000 h°C. Maksimal gulvtemperatur mot gulvisolasjonen er 26.0 °C under dimensjonerende forhold (lavenergibolig).

For gulvet med 50 mm isolasjon bestemmes midlere varmetap fra gulvet over året til å være 7.6 W/m², fig. 8.2.1. Dette varmetapet ligger ca. 30 % høyere enn for et tilsvarende gulv uten gulvvarme. For et gulv med en isolasjonstykkel på 100 mm, vil midlere varmetap være 5.0 W/m², og 3.8 W/m² når isolasjonstykkelsen økes til 150 mm. Dette gjelder for lavenergiboliger med lave gulvtemperaturer. For boliger isolert etter byggeforskriftene vil varmebehovet være større. Dimensjonerende overflatetemperatur på gulvet vil da være 27 °C. Overflatetemperaturen på betongplaten mot gulvisolasjonen vil da ligge på ca. 35 °C. Det er forutsatt at gulvet har parkett. Man vil da få en nær fordobling av varmetapet når gulvisolasjonen er 50 mm.

8.2.2 U-verdi for gulvkonstruksjonen, energiberegninger

Når romlufttemperaturen settes til 20 °C får man etter fig. 8.2.1 en ekvivalent midlere U-verdi over året for gulvet med gulvvarme og 50 mm isolasjon:

$$U_{50} = Q/\Delta t = 7.6/(20 - 6) = 0.54 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Tilsvarende er U-verdien når gulvisolasjonen er 100 og 150 mm:

$$U_{100} = 5.0/14 = 0.36 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{150} = 3.8/14 = 0.27 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Etter NS 3031 bestemmes gulvets U-verdi når gulvisolasjonen er henholdsvis 50, 100 og 150 mm.

$$U_{50} = 0.26 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{100} = 0.19 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{150} = 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Disse U-verdiene vil ligge ca. 50% lavere enn de verdier som er bestemt på bakgrunn av varmetapsberegninger og kan ikke uten videre legges til grunn for energiberegninger etter NS 3031 der romlufttemperaturen og ikke gulvtemperaturen brukes som referanse.

I fig. 8.2.2 er midlere U-verdi for gulvet over året, fastlagt på bakgrunn av reelle varmetapsberegninger, inntegnet som funksjon av isolasjonstykkelsen. For å oppnå en U-verdi på $0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$, byggeforskriftenes krav, må isolasjonstykkelsen være 130 mm. For å oppnå en U-verdi på $0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ under disse forutsetningene må isolasjonstykkelsen være over 200 mm tykk. Igjen er beregningene foretatt i henhold til forutsetninger som er angitt i NS 3031. Her er middeltemperaturen for luften over året brukt som referansetemperatur. I dette tilfellet er denne satt til 6.0°C .

Da jordmassene under boligen skal varmes opp vil varmetapet fra gulvet ligge ca. 10 % høyere det første året før forholdene er stabilisert. En tilsvarende økning i varmetapet vil man også få hvis det er vannførende lag i grunnen som fjerner opplagret varme. For rom i underetasjen med beskjedent tilgang på passiv solvarme vil man komme opp i samme størrelsesorden for tykkelsen på gulvisolasjonen som man har for yttervegger. For å bestemme en optimal isolasjonstykkelse må en foreta en varmebalanseberegning for det aktuelle rommet over året.

U-verdi (midlere over året, gulvvarme)

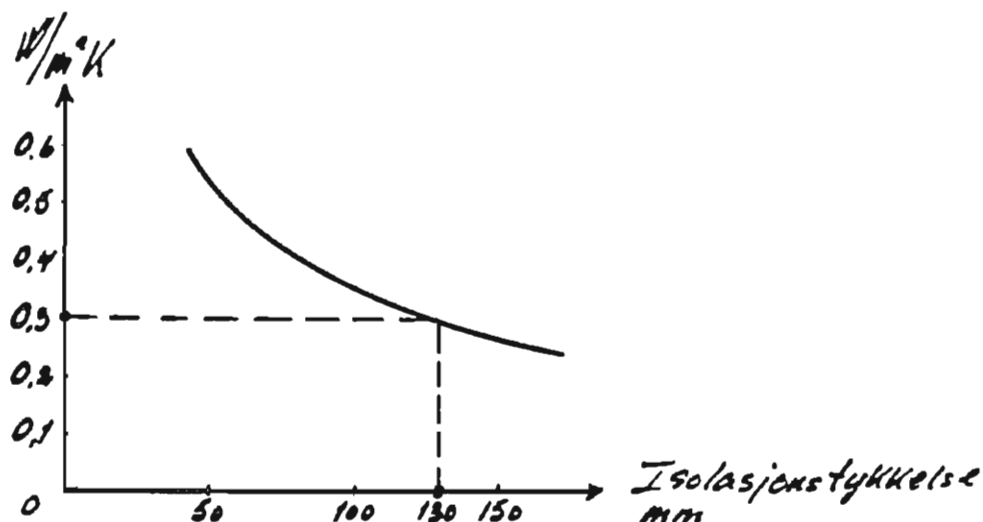


Fig. 8.2.2. Midlere ekvivalent U-verdi for et gulv på grunnen med gulvvarme over året som funksjon av isolasjonstykkelsen. Romlufttemperaturen er 20 °C.

Ved bestemmelse av dimensjonerende effekt (varmetap) benyttes igjen maksimal frostmengde som beregningsgrunnlag. Med 50 mm isolasjon er gjennomsnittlig varmetap for hele gulvet ca. 11.0 W/m². Hvis laveste tredøgnstemperatur legges til grunn vil U-verdien være 0.27 W/m²K. Etter NS 3031 vil tilsvarende U-verdi bestemmes til 0.19 W/m²K som gir et varmetap på 7.6 W/m² som er ca. 30% lavere enn det reelle varmetapet.

8.3 Varmetap fra gulv på grunnen, oppsummering. Anbefalte isolasjonstykkelser med og uten gulvvarme

På grunn av stor varmetreghet vil man ha en faseforskyvning når det gjelder maksimal varmetap fra gulvet på grunnen i forhold til utelufttemperaturen på ca. 1 1/2 måned. Samtidig vil hurtige svingninger i utelufttemperaturen bety lite for varmetapet. Varmetapet fra gulvet følger derfor ikke utelufttemperaturen. Ved fyringssesongens slutt i mai måned vil varmetapet fra gulvet være nær 90% av varmetapet under dimensjonerende forhold. På dette tidspunktet vil større deler av gulvet og ikke bare randsonen ha en lav temperatur. Samtidig vil man ha et betydelig varmetap fra gulvet også under sommerforhold. Sett over både fyringssesongen og året vil man kunne tape mer varmeenergi gjennom en dårlig isolert gulv enn en godt isolert vegg eller takkonstruksjon, se fig. 8.3 a.

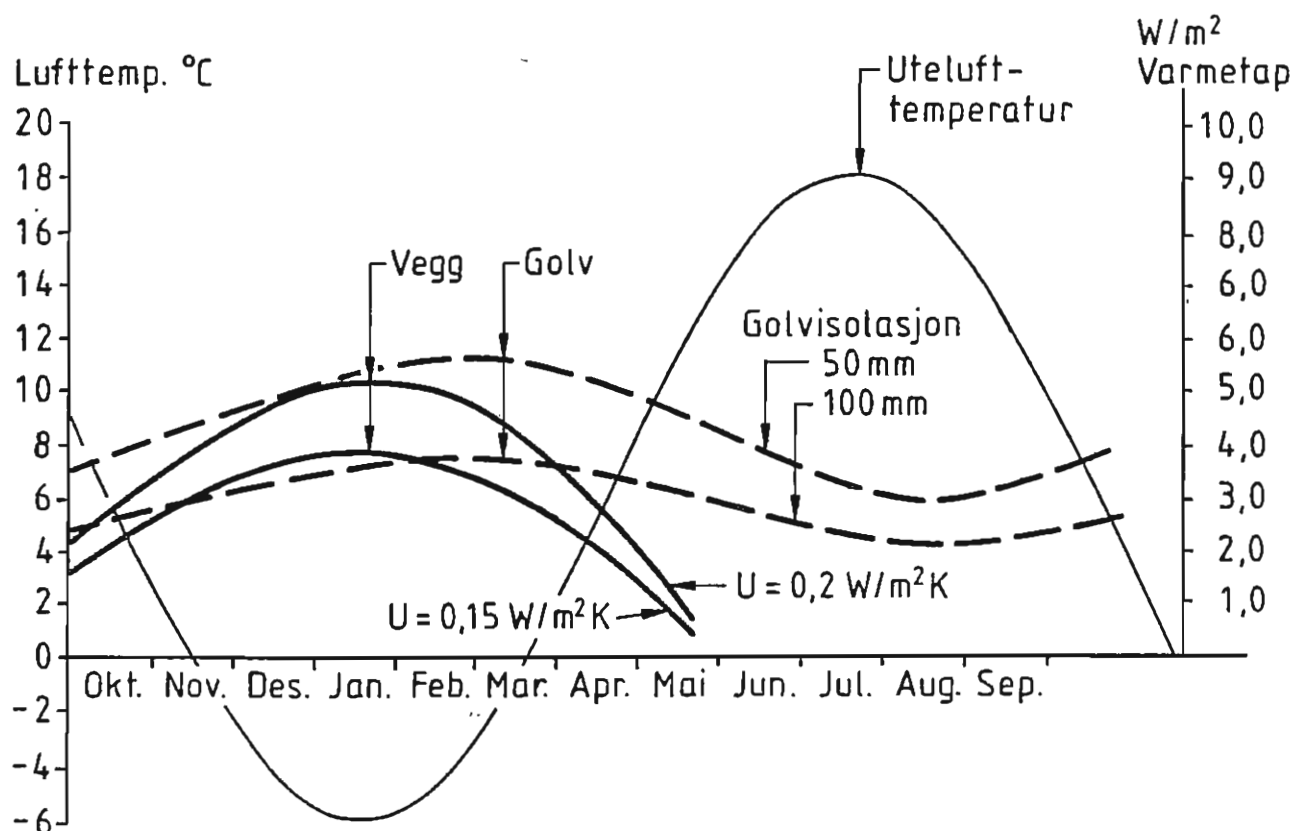


Fig. 8.3 a. Gjennomsnittlig varmetap fra betonggulv på grunnen sammenlignet med en godt isolert veggkonstruksjon ($U = 0.15$ og $0.20 \text{ W/m}^2\text{K}$)

For småhus som har husbredder på 6-10m vil rundt 50 % av gulvflaten ligge i en randzone på 1.0 m som har størst varmetap. Dette betyr at varmestrømmen fra gulvet bør betraktes som tilnærmet tredimensjonal. Dette gjelder særlig for frittliggende småhus og når grunnmaterialene har relativt høy varmeledningsevne, f.eks. fjell og blandingsjord.

Når det gjelder fastleggelse av U -verdien eller varmemotstanden for gulv mot grunnen etter NS 3031, er det derfor dårlig overensstemmelse mellom denne U -verdien og beregningsmetoden. Etter NS 3031 fastlegges varmemotstanden i grunnen for forskjellige soner og grunnmaterialer og er angitt i en tabell. Disse verdiene gjelder for todimensjonale forhold og er bestemt over en fyringsperiode og ikke over året. Dette vil gi for lav U -verdi i en energisammenheng.

Nye beregninger der det tas hensyn til at varmestrømmen fra gulv på grunnen for vanlig boliger er tilnærmet tredimensjonal, og man ser på varmetapet over hele året, viser at beregninger etter NS 3031 gir for lave verdier for varmetapet. Resultatet er at man bruker for lite gulvisolasjon og at byggeforskriftenes krav ikke er oppfylt. Gulv på grunnen har et betydelig varmetap over hele året. Dette kan føre til at det er

nødvendig med varmetilskudd også utover en normal fyringssesong. Det vil særlig gjelde rom som ikke har solvendte vinduer og liten varmeutveksling med den øvrige boligen. Dette omfatter underetasjer, kjellerstuer o.l. Fastleggelse av en optimal gulvisolasjonen vil derfor til dels være konstruksjonsbetinget.

Varmetapsberegninger fra et gulv på grunnen utført med andre forutsetninger enn de som er lagt til grunn for utarbeidelsen av NS 3031, viser at man nær bør doble isolasjonstykkelsen fra 50 til 100 mm for å tilfredstille byggeforskriftenes minimumskrav. Denne tilleggsisolasjonen vil med dagens energipriser kunne spares inn i løpet av en 3 1/2 til 8 års periode avhengig av bygningskonstruksjonen og tilgang på passiv solvarme. Usikkerhet i å anslå grunnmaterialenes varmetekniske egenskaper, områdets hydrogeologiske forhold etc. som har innflydelse på varmetapet fra gulvet, kan elimineres ved at man bruker noe mer gulvisolasjon med entydige materialegenskaper. Dette vil også i høy grad forenkle beregningene og sikre et lavt energiforbruk.

Maksimalt effektbehov etter NS 3031 bestemmes ved å bruke dimensjonerende utelufttemperatur. For å fastlegge en korresponderende U-verdi er det angitt en metode der man i stedet for å redusere temperaturamplityden foretar en dobling av jordens varmemotstand. Denne prosedyren vil slå noe tilfeldig ut på U-verdien avhengig av isolasjonstykkelsen. Når dette ikke gir de store utslag i dimensjonerende effekt skyldes det at varmetapet fra gulvet er relativt beskjedent og lite påvirket av hurtige temperatursvingninger. Varmetapet fra gulvet til grunnen svinger vesentlig mindre over året i forhold til varmetapet fra den øvrige bygningskonstruksjonen. Det å doble isolasjonstykkelsen vil bare utgjøre en forskjell på ca. 300 W når det gjelder dimensjonerende varmetap fra gulvet for en bolig med grunnflate 100 m². Det er derfor primært for å redusere energiforbruket og ikke effekttoppene at det er lønnsomt å øke gulvisolasjonen.

Ved bruk av gulvvarme bør gulvisolasjonen økes også for å redusere effekttoppene. De fleste gulv på grunnen med gulvvarme er i dag klart for dårlig isolert. I tillegg til et stort energiforbruk fører dette også til at man får problemer med å tilfredstille boligens varmebehov. En betydelig del av varmen som tilføres gulvet tapes til grunnen.

Når det gjelder å bestemme varmetap fra gulv på grunnen med gulvvarme, finnes det i dag ingen praktisk beregningsmetode for å fastlegge varmetapet fra gulvet. Direkte bruk av NS 3031 vil

gi for lavt varmetap og dermed for lite isolasjon i gulvet. Når man bruker gulvvarme anbefales det å øke isolasjonstykkelsen med 20 - 30 mm. Beregninger viser at skal byggeforskriftene krav tilfredstilles bør gulvisolasjonen igjen dobles. Dette vil gi isolasjonstykkelser rundt 130 til 200 mm og ikke 50 - 70 mm som er vanlig i dag. Ved å øke isolasjonstykkelsen fra 50 til 100 eller 150 mm vil denne tilleggsisolasjonen kunne spares inn i løpet av 2 1/2 til 4 år med dagens energipriser.

Hvis gulvisolasjonen generelt for gulv på grunnen økes til 100 mm, som kan være energiøkonomisk riktig, fremgår det av fig. 8.3 b at tilsvarende gulv med gulvvarme bør ha en isolasjonstykkelse opp mot 200 mm.

Det er meget enkelt å øke gulvisolasjonen. Dette vil ikke påvirke den øvrige bygningskonstruksjonen, og man vil kunne spare ofte kostbar grus som brukes innenfor ringmuren.

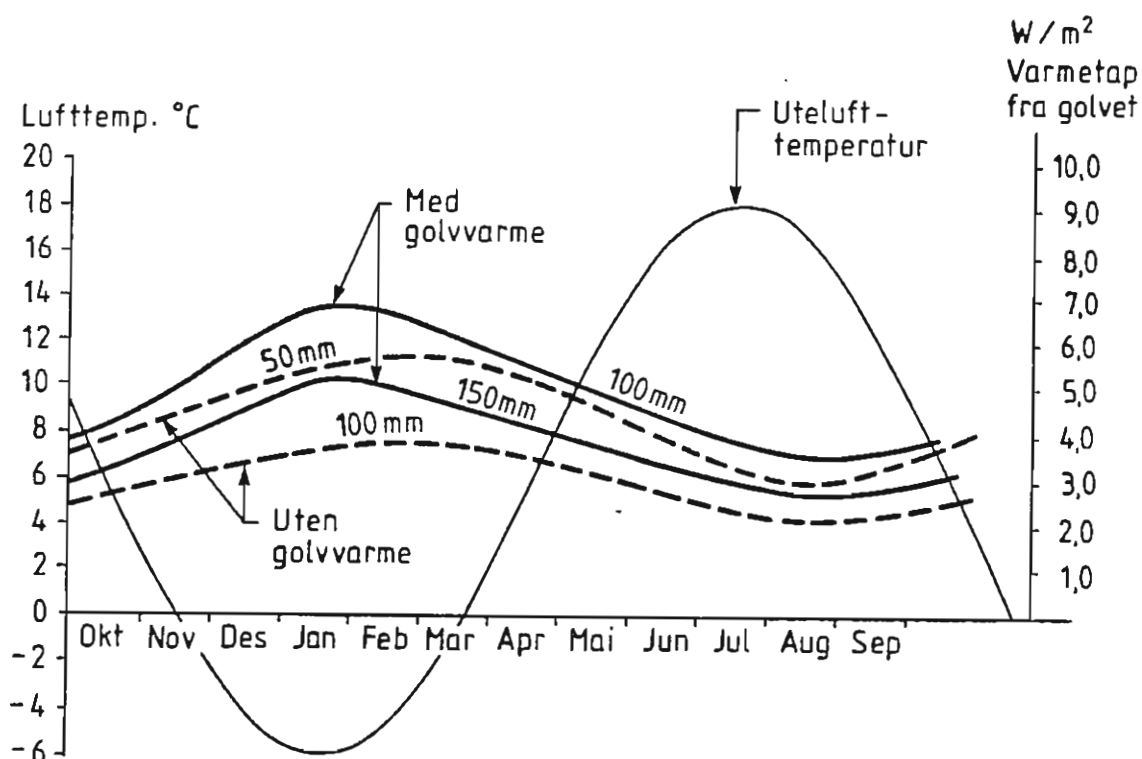


Fig. 8.3 b. Eksempel på varmetap, med og uten gulvvarme, fra betonggulv på grunnen med underliggende varmeisolasjon i forskjellige tykkelser (lavenergibolig)

8.4 Fundament, varmelager, gulvvarme

Ved de fleste lavenergisystemer basert på vannbåret varmeenergi, vil det inngå en eller annen form for varmelagring. Størrelsen på varmelageret vil være avhengig av energikilden og hva varmen skal brukes til. Hvis det skal brukes vannbåret varme både til produksjon av varmt forbruksvann og til boligoppvarming, kan det være en fordel med et større varmelager i tillegg til et beredermagasin på ca. 400 l. Med en vanntemperatur på ca. 55 °C vil dette beredervolumet være tilstrekkelig for ca. to døgns forbruk for en gjennomsnittsbolig.

I lavenergiboligene som vist i Bilag 1, er det brukt en plate på grunn fundamentering der gulvvarme, varmelager for sol/ovnsvarme og gjenvinning av varme fra grått avløpsvann er et integrert system. I tillegg til primære oppgaver som varmesystem og varmelager er hensikten å bruke overskuddsvarme i form av lavtemperaturvarme til å redusere varmetapet til grunnen som kan være betydelig ved bruk av gulvvarme. Ved bruk av et solvarmeanlegg økes virkningsgraden ved å bruke lavest mulig temperaturdifferanse mellom vann og omgivelsestemperaturen. Det er derfor viktig å bygge opp systemet slik at man kan utnytte lavest mulige vanntemperaturer. Konstruksjonen er imidlertid kostbar da det kreves flere arbeidsoperasjoner og et relativt stort forbruk av rør. Også isolasjonsforbruket vil være betydelig da varmelageret i tillegg til isolasjon mot grunnen også må isoleres fra boligen slik at man kan styre varmeuttaket etter behov.

Gulvkonstruksjonen er utført under forutsetning at gulvvarmeanlegget skal være minst mulig varmetregt. For vanlig isolerte boliger vil dette ofte være en forutsetning for å oppnå et lavt energiforbruk. For lavenergiboliger der oppvarmingsbehovet er beskjedent, gjør at man kan holde relativt liten temperaturdifferanse mellom gulvoverflaten og romluften. Gulvvarmeanlegget er da nærmest selvregulerende. Når lufttemperaturen øker på grunn av direkte solinnfall, vil varmeavgivelsen fra gulvet opphøre. Gulvet vil i prinsippet kunne kjøle ned romluften.

I en lavenergibolig med vannbåren gulvvarme kan man derfor bruke en mer varmetreg gulvkonstruksjon. Dette betyr at man ikke nødvendigvis bør separere varmelager og gulvvarmeanlegg. Gulvet kan da utføres med en betydelig varmekapasitet for lagring av varme. Gulvvarmeanlegget sørger for grunnvarmen. En finjustering av varmetilførselen for å tilfredstille

varmebehovet kan ivaretas av små panelovner/varmelister fortrinnsvis plassert under vinduer. Dette vil i vesentlig grad kunne forenkle oppbyggingen av gulvet.

Rent generelt vil et gulvvarmeanlegg ha relativt liten forseringseffekt på grunn av tregheten og begrensningen i overflatetemperaturen. Dette betyr at kombinasjonen gulvvarme og el. panelovner eller vannbaserte konvektorer er meget gunstig spesielt i rom med raskt skiftende varmebehov. Fordelen med gulvvarme er at man oppnår en relativt høy operativ temperatur (følt temperatur) selv med en lav lufttemperatur. Ved å kombinere gulvvarme og panelovner/konvektorer vil man meget hurtig kunne heve romtemperaturen. Et gulvvarmeanlegg alene er ikke spesielt godt egnet til å styre romtemperaturen ved relativt hurtige og større svingninger i varmebehovet. Dårlig temperaturregulering vil uvegelig kunne føre til et økt energiforbruk.

8.4.1 Gulv på grunnen med kombinert gulvvarme og varmelager

I erkjennelse av at gulvvarmeanlegg i lavenergibolig kan utføres varmetrege kan man kombinere gulvvarme og varmelager i en og samme konstruksjon, fig. 8.4.1. Dette vil kunne redusere kostnadene vesentlig. Det er meget enkelt å legge inn et varmelager i gulvet. Dette gjøres ved en kombinasjon av betong og vannrør. For eksempel vil en bolig med en kvadratisk gulvflate på 64 m², med gulv på grunnen med 0.3 m tykk betongplate, inneholde ca 19 m³ betong. Hvis det legges ned 110 mmØ vannrør med en innbyrdes avstand på 0.5 m, vil dette utgjøre 120 m rør eller 1.14 m³ vann. Dette varmelageret vil ha en varmelagringskapasitet på ca. 12 kWh/°C. Her vil vannvolumet i vannrørene utgjøre 1.3 kWh/°C eller 8% av lagringskapasiteten. Vannrørene skal derfor fordele varmen i betonglageret, mens det er betongen som står for selve varmelageret. Om man skal bruke mer rør av mindre dimensjoner eller ferre større rør, vil derfor være et kostnadsspørsmål. Man kan grovt regne at betong har en lagringskapasitet for varme som ligger omtrent på halvparten pr. volumenhet av et tilsvarende vannvolum.

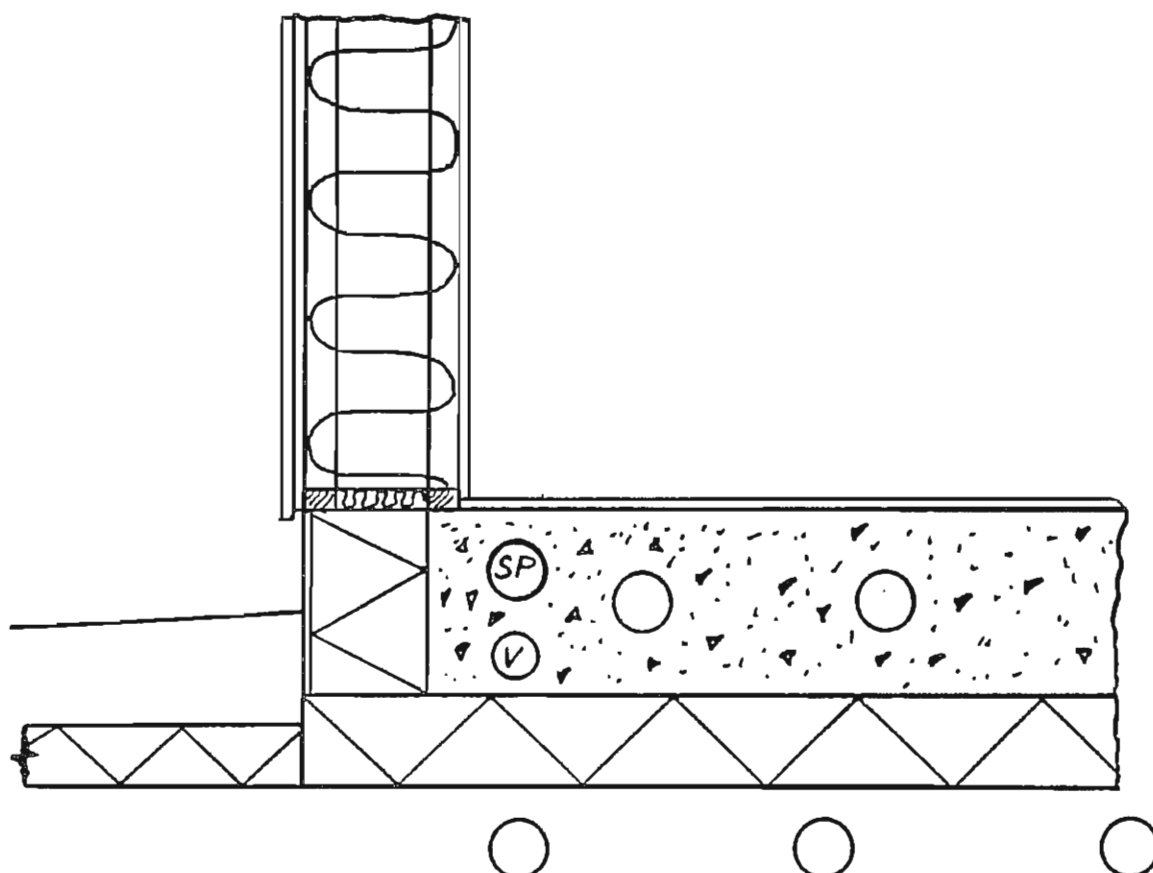


Fig. 8.4.1 Kombinert gulvvarme og varmelager. Overskuddsvarme kan også tilføres grunnen under isolasjonen

Overflatetemperaturen på gulvoverflaten bør i middel ligge 1-2 °C under balansetemperaturen bestemt av rommets varmebehov, men over 20 °C. Et gulv på grunnen uten gulvvarme vil vanligvis ha en overflatetemperatur på ca. 18 °C. Dette gjør at man kan la gulvtemperaturen svinge 3 - 5 °C. Det er spesielt viktig i rom med raskt skiftende varmebehov at gulvtemperaturen ikke er for høy for å forhindre overoppheting. Oppladningen av varmemagasinet foregår ved direkte solinnstråling og varme tilført fra solfangeren eller annen energikilde f.eks. biobrensel, tilfeldig kraft etc.

Skiftende varmebehov kan f.eks. skyldes solinnstråling spesielt vår og høst. Man vil da effektivt kunne jevne ut døgntemperaturene. Varmetilskudd fra lys, elektriske installasjoner, personer etc., vil også føre til et redusert

behov for varme fra varmeanlegget. Forutsetningen er at evt. varmeunderskudd i kortere perioder dekkes med annen varme. Dette varmetilskuddet vil være beskjedent og kan komme fra fra el. panelovner, varmelister eller vannbaserte konvektorer som fortrinnsvis plasseres under vinduer. Dette vil bare føre til en ubetydelig økning i anleggskostnadene. En mindre elektrisk panelovn koster f.eks. 200 – 300 kr, og krever ingen oppdimensjonering av det elektriske anlegget.

Ved å kombinere gulvvarme og varmelager vil temperaturnivået i varmelageret ligge rundt 25 – 30°C. Temperaturnivået vil være avhengig av typen gulvbelegg som bør ha minst mulig varmemotstand. Høy temperatur på varmelageret vil gi relativt stort varmetap som må kompenseres ved å øke isolasjonstykkelsen. Dette vil bety isolasjonstykkelser på 150–200mm. Denne isolasjonstykkelsen kan reduseres noe ved å slippe evt. overskuddsvarme fra solfangeren ned i massen under gulvisolasjonen, fig. 8.4.1. Man kan dermed også øke virkningsgraden for solfangeren ved å bruke lavere vanntemperaturer. Alle energisparetiltak må vurderes opp mot kostnader, samtidig som det er viktig at anlegget er enkelt å styre. I dette tilfellet kan gulvtemperaturen reguleres ved hjelp av en termostatstyrt shuntventil og en vannpumpe.

Ved å koble et mindre varmelager for varmt tappevannvann og vann til boligoppvarming sammen med et større varmelager i gulvet, får man et meget fleksibelt anlegg. Dette betyr at man er i stand til å utnytte større deler av varmen som produseres f.eks. fra en solfanger. Det er særlig under vår og høst med direkte soloppvarming, at det kan være hensiktsmessig også å tilføre overskuddsvarme til grunnen under gulvlageret. Overskudd på varme har man først når beredertanken er fullt oppladet. Varmen kan tilføres grunnen direkte fra solfangeren, eller via gulvlageret. Eventuelt overskuddsvarme i gulvlageret som ellers vil føre til overtemperaturer i rommet kan på denne måten effektivt kontrolleres ved å ha en direkte kobling mellom betong- og jordlageret.

Jordtemperaturen under gulvisolasjonen vil uten varmetilførsel holde en temperatur under sommerforhold på 12–15 °C. Ved å heve jordtemperaturen under gulvisolasjonen, spesielt i perioder vår og høst, vil varmetapet fra gulvet til grunnen reduseres. Hvilken effekten denne varmelagringen vil ha på boligens energiforbruk vil være avhengig av rommets varmebehov over året og materialene i grunnen. Vanligvis vil man ha et kapillarbrytende lag bestående av sand, grus, pukk el. umiddelbart under gulvisolasjonen. Dette laget inneholder lite fuktighet og har derfor en relativt beskjeden varmekapasitet.

Hvis man ønsker å ha et større varmemagasin til rådighet, må rørene legges dypere i stedlige masser. Man oppnår samtidig en større kjølekapasitet under sommerforhold da temperaturene også er lavere her. Når det gjelder å redusere varmetapet fra gulvet er det en fordel å slippe overskuddsvarmen i laget umiddelbart under gulvisolasjonen. Dette bør være den normale utførelsen som også er rimeligere å utføre.

8.4.2 Varmegjenvinning fra "grått avløpsvann"

Da temperaturnivået i betongdekket med gulvvarme evt. kombinert med et varmelager ligger rundt 25 - 30°C, vil det være meget gunstig å la det grå spillvannet passere i en rørsøyfe rundt periferien av betonglageret, se fig. 8.4.1. Varmetapet fra gulvet et størst i denne sonen. Det grå avløpsvannet fra en vanlig bolig utgjør ca. 300 l/døgn med en gjennomsnittstemperatur på 30-35°C. Ved å samtidig å legge tilførselsledningen for varmtvann under avløpsledningen oppnår man en effektiv varmeveksling. Varme avgis til gulvet samtidig som man får en forvarming av det varme forbruksvannet, se Bilag 1.

Selv om man ikke har et varmelager i gulvet vil det allikevel være gunstig å gjenvinne varmen fra det grå spillvannet. Hvis det benyttes gulvvarme, legges spillvannledningen for det grå avløpsvannet i påstøpen. For å redusere byggehøyden på systemet kan varmtvannsledningen f.eks. legges inne i avløpsledningen, og man får en enkel motstrøms varmeveksler, fig. 8.4.2.

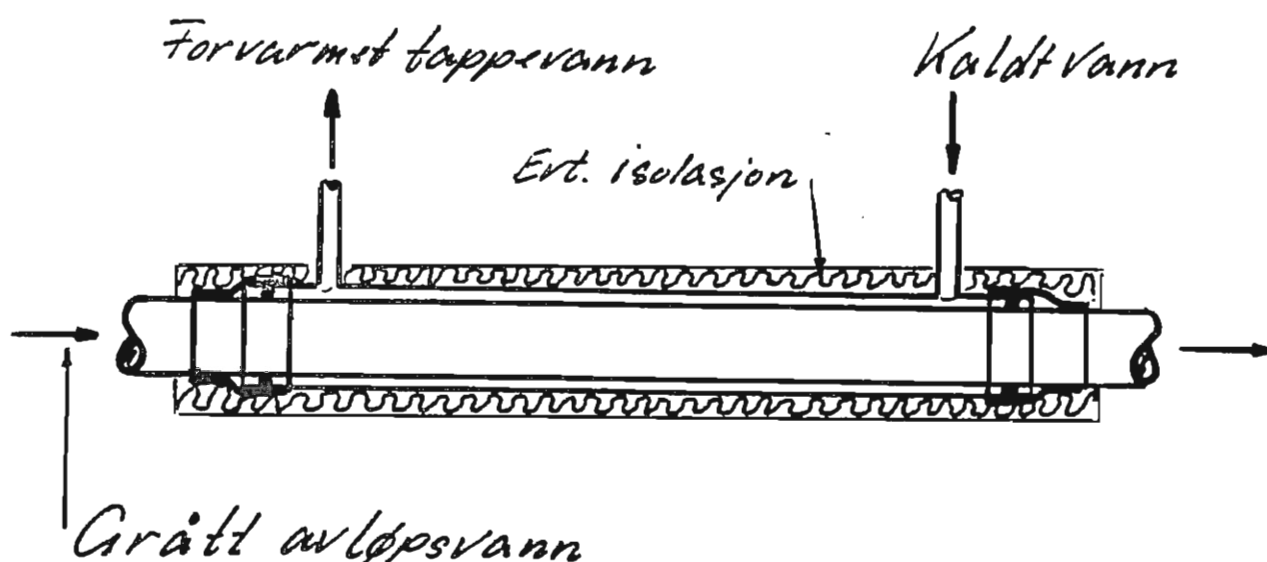


Fig. 8.4.2. Varmeveksler for forvarming av varmt forbruksvann med varme fra grått avløpsvann

Hvis det ikke brukes gulvvarme kan rørvarmeveksleren legges i pukklaget under gulvet og isoleres med en rørskålisolering. I en normalbolig produseres det ca. 180 l varmtvann av 55 °C pr. døgn. Gjennomsnittlig inngangstemperatur på vannet over året settes til 7.0 °C, og temperaturen på det grå spillvannet er 34 °C. Man får da en blandingstemperatur t_0 :

$$300 \cdot (34 - t_0) = 180 \cdot (t_0 - 7)$$

$$t_0 \approx 24.0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Over året har man dermed et gjenvinningspotensiale på ca. 1400 kWh eller ca. 40% av energien som tilføres varmtvannet. Denne energien benyttes direkte til forvarming av varmtvannet. Dette er en betydelig varmemengde i en lavenergisammenheng, og ligger i samme størrelsesorden som varmetapet til grunnen fra gulvet med en forsterket gulvisolasjon. Hvis det grå spillvannet også kan inngå i boligens varmeanlegg kan varme- gjenvinningen økes ytterligere. Fordelen ved å gjenvinne varme fra det grå avløpsvannet til forvarming av det varme tappevannet, er at man har størst effekt i vinterhalvåret når inngangstemperaturen på vannet er lav.

9.0 VENTILASJON I LAVENERGIBOLIGER

Skal man opprettholde en tilfredstillende luftkvalitet i moderne tette og godt isolerte boliger kreves en god ventilasjon. Nødvendig ventilasjonsluftmengde vil være bestemt av materialvalg, renhold og aktiviteter i boligen. Da ikke alle rom har samme ventilasjonsbehov samtidig, er det en fordel om man til en viss grad kan behovsstyre ventilasjonen.

Med behovstyrt ventilasjon ønsker man primært å oppnå:

1. Godt inneklima med god luftkvalitet
2. Minst mulig risiko for byggeskader
3. God energiøkonomi

En absolutt forutsetning for å et lavt energiforbruk er at man har kontroll med ventilasjonsluften. I vanlige bolighus regnes en gjennomsnittlig ventilasjonsgrad på ca. 0.5 luftomsetninger pr. time (oms/h) som en ønskelig grunnventilasjon. Selv med denne minimumsventilasjon vil varmetapet på grunn av ventilasjonen i referanseboligen, Bilag 1, utgjøre hele 6.000 kWh/år. I tillegg kommer den ukontrollerte ventilasjonen på grunn av utettheter (infiltrasjon) som kan ligge på fra 1.000 kWh/år og oppover.

En måte å få kontroll med ventilasjonsluftmengden er å utføre boligen mest mulig lufttett. En kontrollert lufttetthet er også en forutsetning for å forhindre:

- trekk
- nedkjøling av gulv, vegger og tak
- kondens i vegger og tak
- slagregnsinntrengning
- at isolasjonsevnen i gulv, vegger og tak nedsettes
- at innetemperaturen må økes som følge av trekk

Det er særlig temperaturdifferansen inne og ute som gir forskjeller i lufttrykket og dermed mulighet for luftlekkasjer. Man får en skorsteinseffekt som vil øke med høyden på boligen, med overtrykk i høyreliggende deler av boligen og tilsvarende undertrykk i undretasjen, se fig. 9.0 a. Varm luft presses ut øverst og kald frisk luft suges inn nederst. I kaldt stille vær kan dette føre til at tilluftventilene i de øvre deler av huset virker som fraluftsventiler. Disse rommene kan derfor i perioder få for lite tilførsel av uteluft. Det kan derfor være

nødvendig å utstyre disse rommene med fraluftskanaler for å få tilfredstillende luftutveksling.

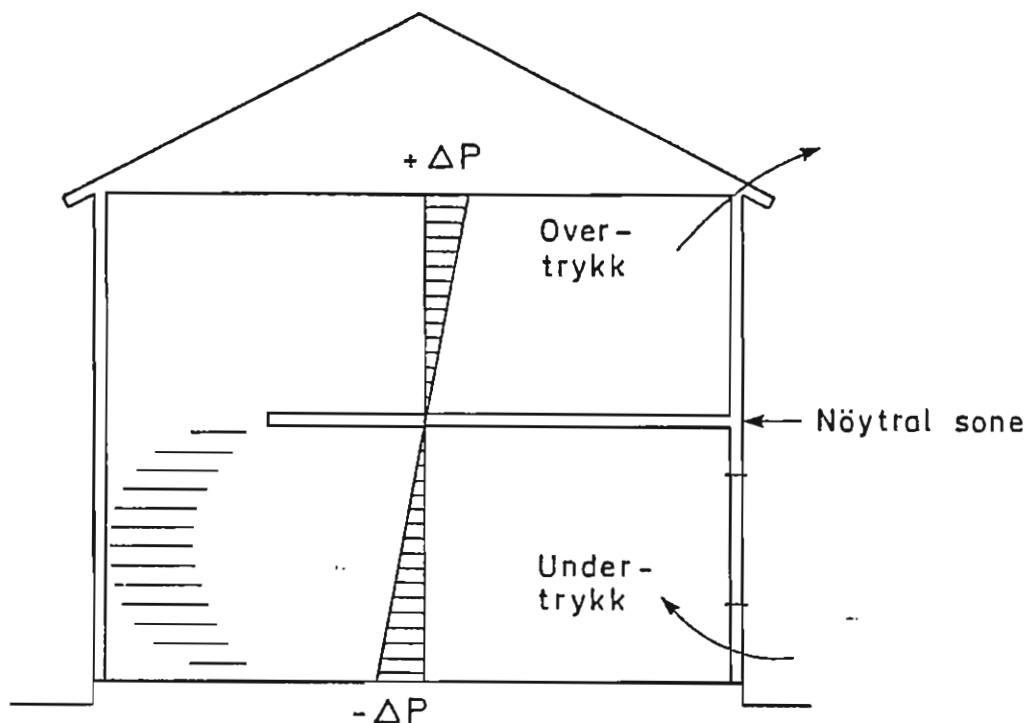


Fig. 9.0 a. Trykkforholdene i en bolig på grunn av temperaturforskjeller

Også vind vil kunne skape trykkforskjeller som kan forårsake luftlekkasjer. Dette gjelder særlig boliger på vindutsatte steder. Man kan få et betydelig utvendig overtrykk på vindsiden og undertrykk over taket (flyvingeeffekt) og på lesiden, se fig. 9.0 b. Spesielt problematisk vil det være på steder der lave temperaturer og sterk vind opptrer samtidig. Her vil disse effektene kunne forsterke hverandre og føre til betydelige trykkdifferanser. På Østlandet vil det normalt være relativt vindstille når man har høytrykk og lave temperaturer.

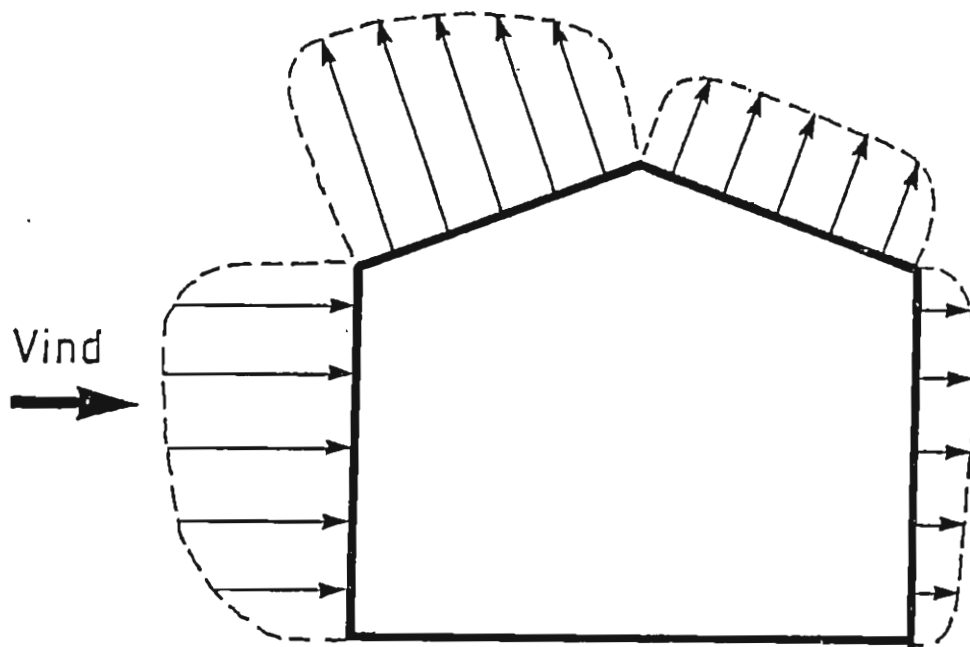


Fig. 9 b. Trykkforskjeller på grunn av vind. Merk spesielt lave trykk over takflaten

I fig. 9 c er det antydnet de mest vanlige stedene man kan ha luftlekkasjer.

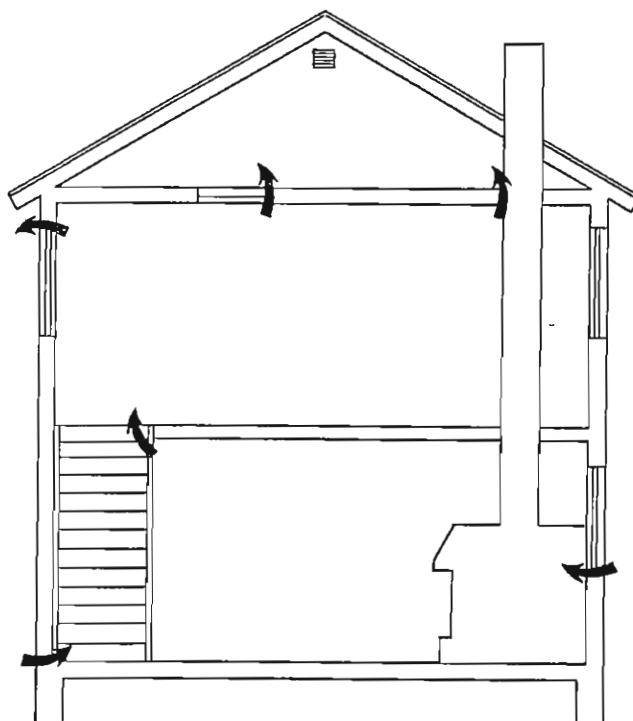


Fig. 9 c. Vanlige steder man kan ha luftlekkasjer

Moderne norske boliger vil ha en luftomsetning (lekkasjetall) på 3 – 6 oms/h med et overtrykk på 50 Pa med et gjennomsnitt på 5 oms/h. Dette vil kunne gi boligen en ventilasjonsgrad på

0.2 - 0.4 oms/h under ugunstige forhold med vind og lave temperaturer. Byggeforskriftene stiller som krav til tetthet i småhus at lekkasjetallet maksimalt skal være 4 oms/h. Eldere utette boliger vil under tilsvarende forhold ha for stor ventilasjonsgrad som kan føre til trekk som må kompenseres ved å øke lufttemperaturen. I utette hus vil ventilasjonen styres av uteklimaet. I tillegg til energitapet vil luftlekkasjer også kunne være årsak til fuktskader i vegger og tak. Når den varme innelufta lekker ut gjennom bygningskonstruksjonen vil den bli avkjølt og avgir fuktighet i form av kondens. Ved å bruke en 0.15 mm plastfolie (PE) som innvendig dampspærre vil denne også være godt egnet for oppnå en lufttett konstruksjon. For å sikre lufttetthet skal man bruke klemte skjøter, se fig. 9 d. Bruk av en plastfolie er en rimlig og effektiv måte å lufttette boligen.

I tillegg til den innvendig dampspærren, må man sikre at kald luft ikke trenger inn i isolasjonen ved vind. Hvis isolasjonsmaterialene er mineralull el.l. er det vanlig å bruke en relativt dampåpen vindspærre utvendig, fig 9 d.

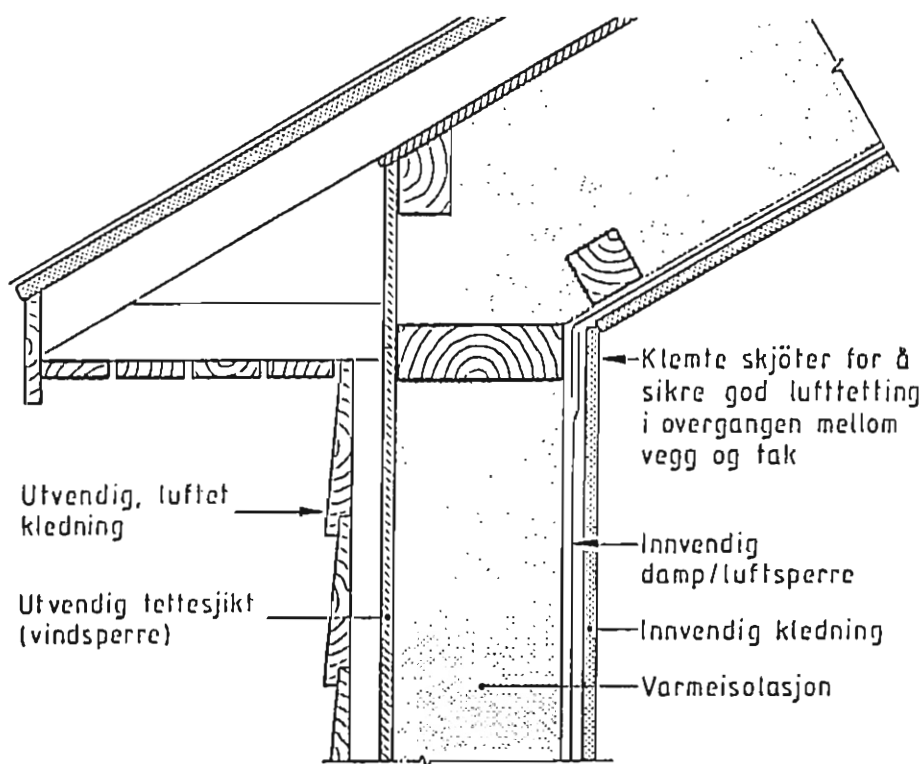


Fig. 9 d. For å oppnå en god lufttetthet må alle skjøter i den innvendige damp/luftspærren klemmes med plater eller klemmister

Det vanlige er å utstyre mindre boliger med ventilasjonssystemer basert på naturlige drivkrefter med mulighet for forsert mekanisk avtrekk fra kjøkken. Figur 9 e viser beregnet energiforbruk til oppvarming av ventilasjonsluften over fyringssesongen for en 100 m² bolig. Boligen er utstyrt

med naturlig avtrekksventilasjon. Forholdene er beregnet med en gjennomsnittlig vindhastighet på 2.4 m/s og en utelufttemperatur på 1.7 °C som er midlere klimaforhold i Trondheimsdistriktet over fyringssesongen. Beregningene er foretatt for en- og treetasjes bolig, derfor spredningen i energiforbruk. Boligene i tre etasjer vil ha størst infiltrasjonstap.

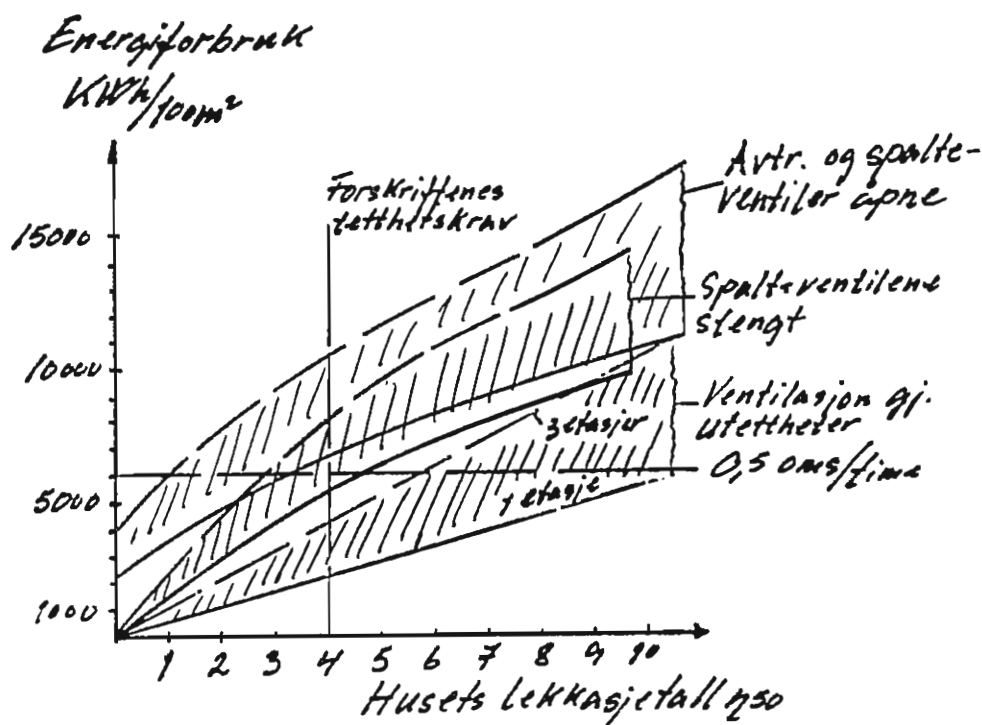


Fig. 9 e. Utetthetens betydning for energiforbruket, naturlig avtrekk

Figur 9 e viser at boligen i dette tilfellet må ha et lekkasjetall i størrelsesorden 4-5 oms/h for at man skal være rimelig sikker på å unngå fuktskader. Med åpne avtrekks- og spalteventiler vil man få et meget stort ventilasjonstap. Det er da også vanlig i disse boligene å stenge spalteventilene i fyringssesongen for å hindre trekk. All tilluft kommer da inn gjennom utettheter. Hvis disse er relativt jevnt fordelt på en rekke mindre lekkasjesteder vil man kunne få en viss forvarming av luften før denne kommer inn i boligen. Dette vil kunne forhindre trekk. Energiforbruket vil kunne reduseres ved at man gjenvinner noe av transmisjonsvarmetapet i vegger og tak ved hjelp av såkalte dynamiske effekter. Det vil allikevel være beskjedne varmemengder man gjenvinner på denne måten. Ventilasjonstapet vil stadig være høyt.

Figur 9 f viser forholdene en vindstille høstdag med

lufttemperaturen 10.0°C . I dette tilfellet bør man ha et lekkasjetall for en enetasjes bolig på rundt 10 for å oppnå tilstrekkelig ventilasjon. Dette viser begrensningene i et ventilasjonssystem med naturlig avtrekksventilasjon. Man får problemer med å opprettholde tilfredstillende luftkvalitet i boligen. Som vist i fig 9 f kan forholdene forbedres ved å supplere med mekanisk avtrekk. På grunn av høye utelufttemperaturer vil dette bety relativt beskjeden økning i energiforbruket. Ved bruk av mekanisk avtrekksventilasjon vil hele boligen få et innvendig undertrykk. Spesielt under moderate klimaforhold med lite vind, vil utettheter kunne bety noe mindre for ventilasjonsgraden enn når man har en balansert ventilasjon, se fig. 9 f. Beregninger utført med moderate vindhastigheter bekrefter disse forholdene, se fig. 9 g. Forutsetningen er imidlertid at utetthetene er jevnt fordelt over hele huset.

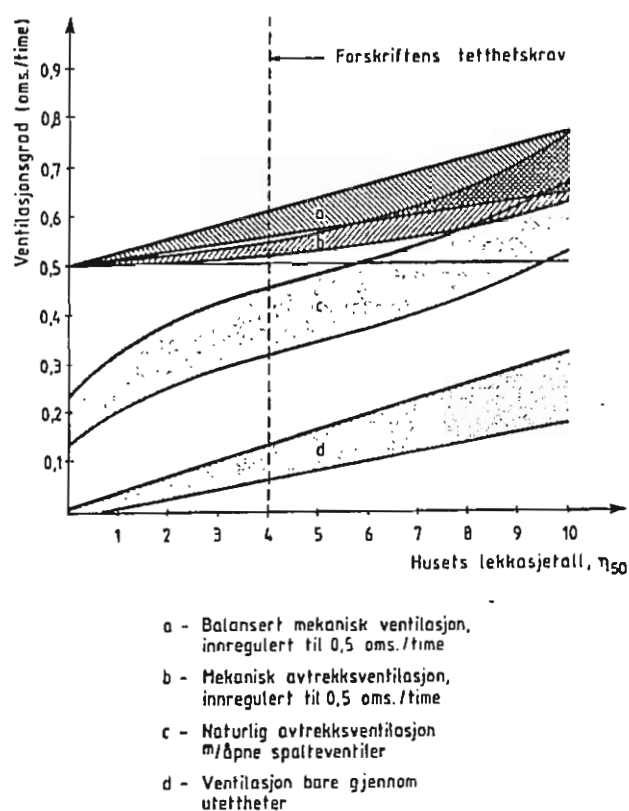


Fig. 9 f. Beregnet sammenheng mellom ventilasjonsgrad, lekkasjetall og ventilasjonssystem. Utetemperaturen er 10.0°C og det er vindstille.

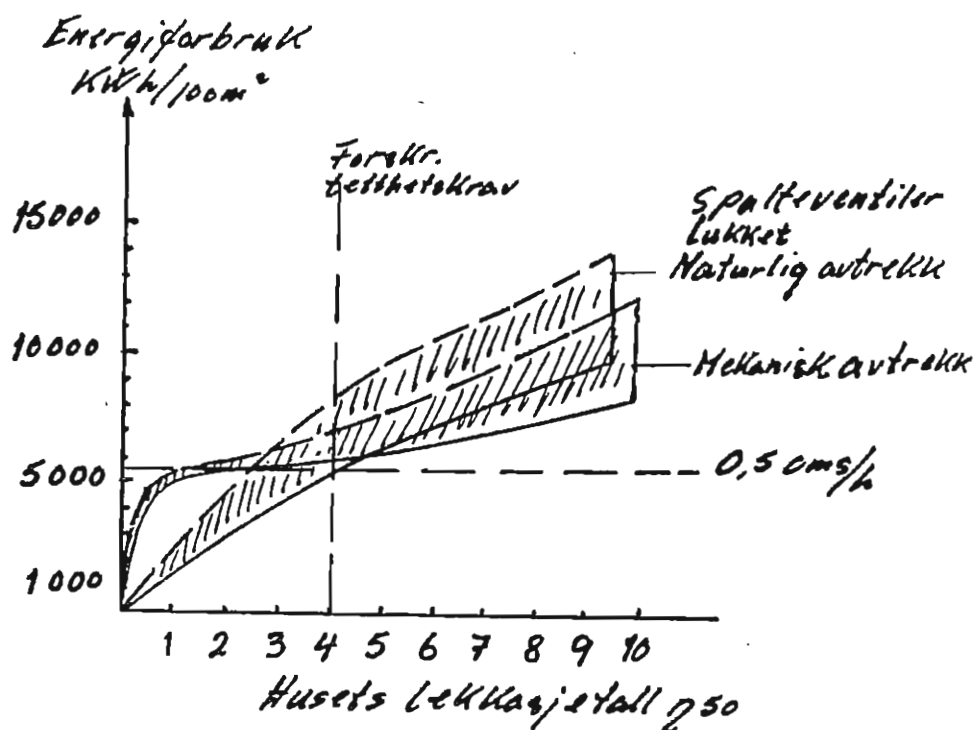


Fig. 9 g. Sammenligning mellom naturlig- og mekanisk avtrekk når det gjelder energiforbruk til oppvarming av ventilasjonsluft.

I moderne boliger med små luftlekkasjer vil ventilasjonsanlegg basert på naturlig avtrekk ikke være tilstrekkelig for å sikre et tilfredstillende inneklima. For å kompensere for en utilstrekkelig ventilasjon (soveværelser), er det derfor vanlig i perioder å åpne vinduer hvis dette er mulig på grunn av støy etc. Det kan også være nødvendig å åpne dører fra bad og vaskerom inn til den øvrige boligen for å sikre en hurtig uttørring og dermed unngå fuktproblemer.

Hvis man ønsker å ha vinduet oppe i soverom om natten, bør disse rommene være varme- og luftisolert fra den øvrige boligen så ikke hele boligen kjøles ned. Dette bør gjelde for alle rom man kan tenke seg å ha en temperatursoning. Hvis et rom er luftisolert fra den øvrige boligen, må rommet både ha en tillufts- og en fralufts kanal.

Som en konklusjon kan man si at naturlig avtrekksventilasjon uten varmegjenvinning, supplert med mekanisk avtrekk kan gi tilfredstillende luftkvalitet, men er ikke forenelig med lavenergiløsninger. Forutsetningen er at boligene ikke er for tette, men tilfredstiller byggeforskriftenes krav til tetthet og ikke mer.

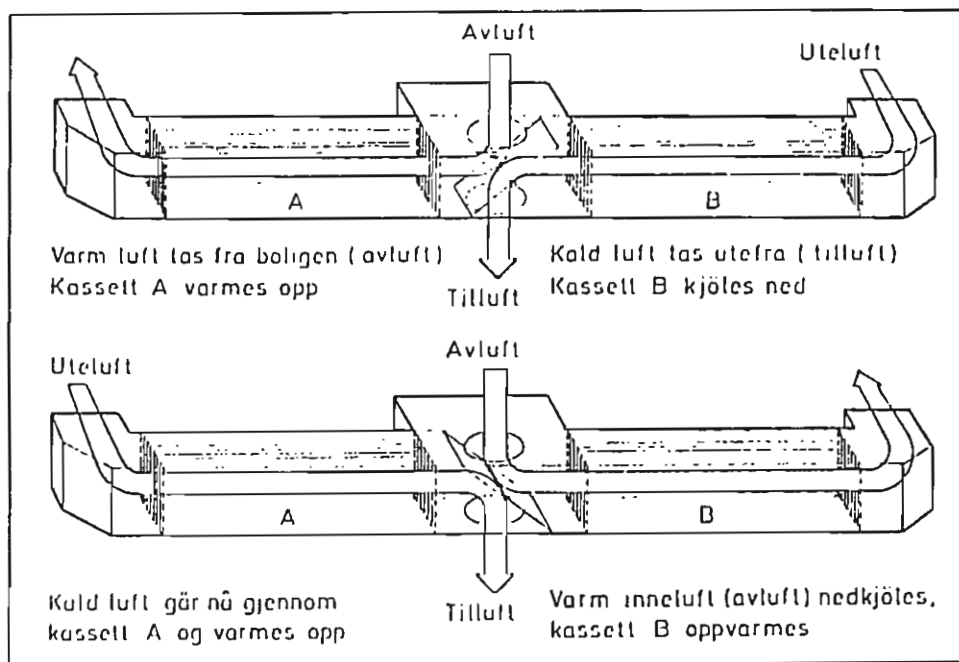
9.1 Mekanisk ventilasjon med varmegjenvinning

Rent energioekonomisk, komfortmessig og for å unngå fuktskader

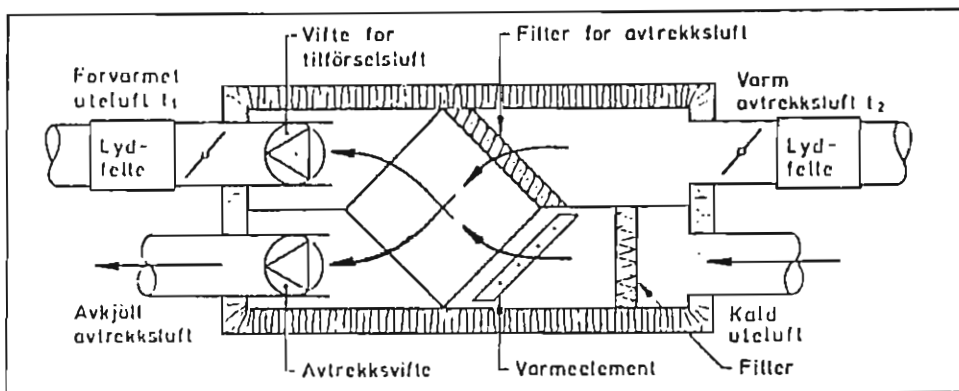
bør moderne tette boliger, med bruk av dagens teknologi, være utstyrt med mekanisk ventilasjon med en form for varmegjenvinning av ventilasjonsluften. Det tenkes da primært på varmevekslere der fraluften varmer opp tilluften. Dette forutsetter en relativt lufttett bolig og et balansert ventilasjonsanlegg. Noe av varmeinnholdet i fraluften kan også gjenvinnes ved bruk av fraluftsvarmepumpe. Da luften bare avkjøles til 3 – 5 °C vil dette være en mindre gunstig løsning sammenlignet med en varmeveksler med høy virkningsgrad. Dette er særlig tilfellet hvis boligen har god lufttetthet.

I tillegg til en grunnventilasjon er det vanlig å ha en egen kjøkkenvifte med avtrekk fra komfyren. På grunn av kort brukstid kan denne luften føres utenom varmeveksleren uten at dette betyr noe energimessig. Dette kan ha driftsmessige fordeler da denne luften ofte er sterkt forurenset.

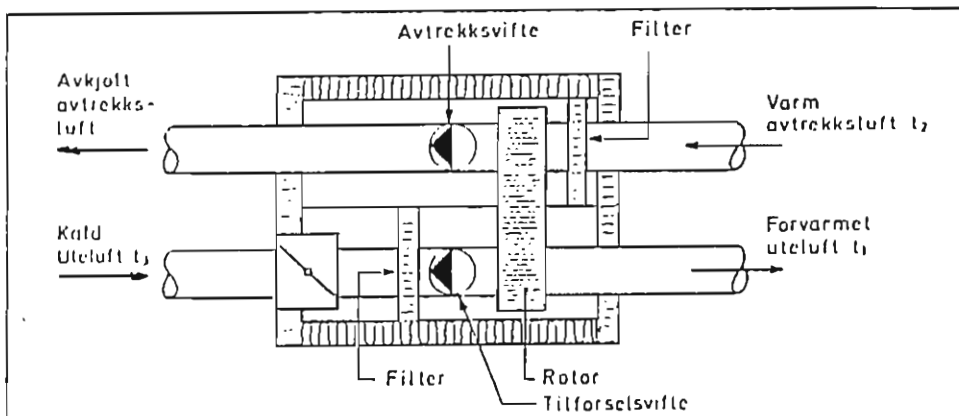
I Bilag 1 er det vist en prinsippskisse av ventilasjonsanlegget i referanseboligen. For å sikre full separasjon av luften er det brukt en motstrøms platevarmeveksler med innebygde vifter i avtrekk og innblåsningskanalen. For til en viss grad å kunne behovstyre ventilasjonen kan varmevekslermotorene utstyres med turtallsregulering. Det vanlige er å bruke en tre til femtrinns transformatorregulering. Figur 9.1 a viser forskjellige typer varmevekslere som brukes i småhus som alle har høy temperaturvirkningsgrad. Varmevekslerene er utstyrt med filter både for innblåsning- og avtrekksluften. Disse filterene kan være av ulik kvalitet og må skiftes eller rengjøres minst to ganger i året. Det er derfor viktig at det er relativt lett å komme til varmeveksleren. I referanseprosjektet er varmeveksleren plassert i et eget installasjonsrom.



Kammervarmeveksler



Platevarmeveksler



Roterende varmeveksler

Fig. 9.1 a. Forskjellige typer varmevekslere som brukes i småhus. Platevarmeveksleren har full separasjon av ute- og inneluften

Figur 9.1 b viser beregnet energiforbruk til oppvarming av ventilasjonsluften med mekanisk til- og fraluftsventilasjon med og uten varmegjenvinning. Det er forutsatt balansert ventilasjon og grunnventilasjonen er satt til 0.5 oms/h. Varmegjenvinneren har en temperaturvirkningsgrad på hele 80 %. Midlere vindhastighet er 2.4 m/s og utelufttemperaturen er 1.7

°C. Det fremgår igjen betydningen av at boligen er relativt lufttett. Hvis boligen er utett vil man få en god varmegjenvinning av en luftmengde man strengt tatt ikke har bruk for. Man oppnår ingen reell energibesparelse. Et ventilasjonsanlegg med mekanisk til- og fraluft skal dimensjoneres slik at ventilasjonsbehovet i boligen er tilfredstilt. På grunn av varmegjenvinningen har man mulighet for en forsert ventilasjon i perioder uten at dette betyr vesentlig høyere energiforbruk. Boligen bør derfor utføres så lufttett som overhodet mulig.

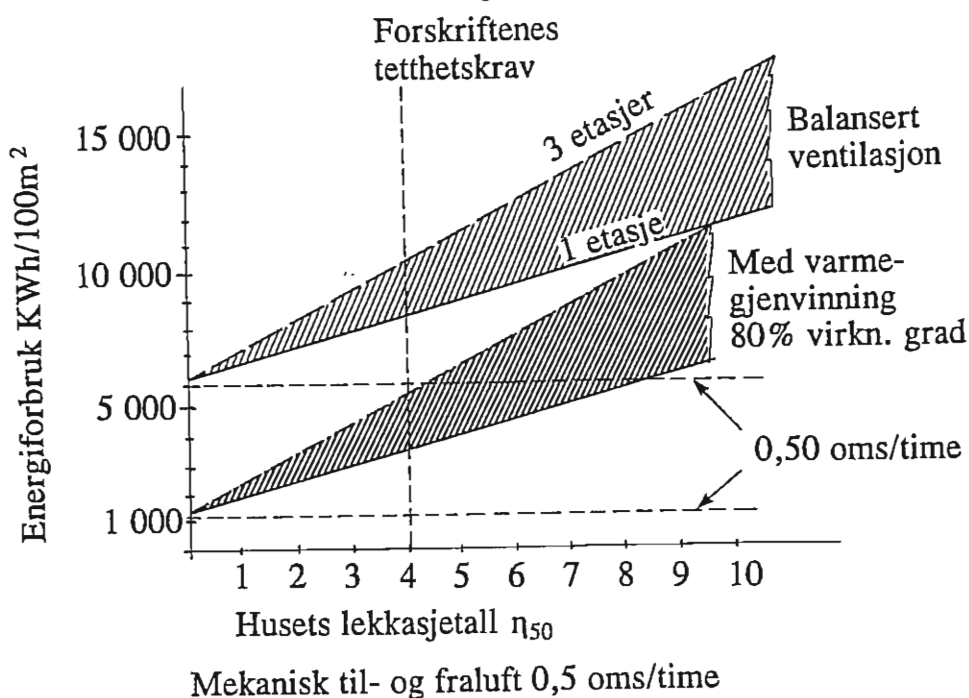


Fig. 9.1 b. Beregnet energiforbruk til oppvarming av ventilasjonsluften med og uten varmeveksling.

Figur 9.1 c viser eksempel på et ventilasjonsanlegg med balansert ventilasjon med varmeveksling.

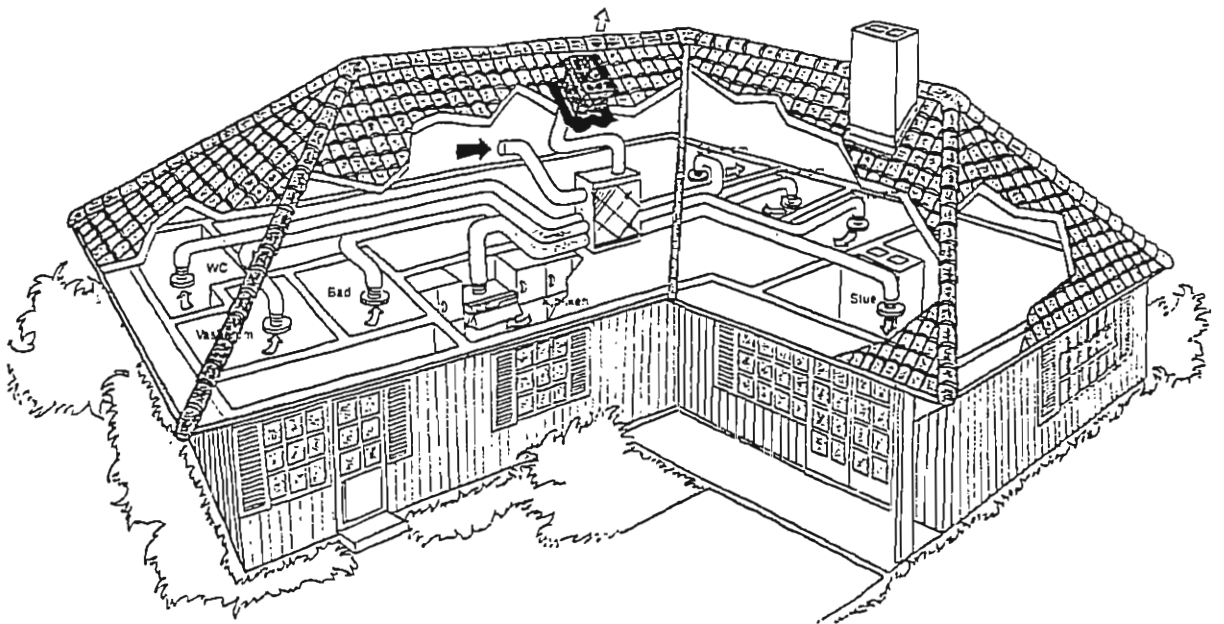


Fig. 9.1 c. Ventilasjonsanlegg med varmeveksling i småhus

Det fremgår av fig. 9.1 c at det ved bruk av balansert ventilasjon kan få et relativt omfattende kanalnett. I det viste eksemplet er det avtrekk fra bad, Wc, vaskerom og kjøkken mens soverom og stue har tilluft. Da et omfattende kanalnett er kostbart og arealkrevende er det av største betydning at planløsningen og plasseringen av varmeveksleren er slik at kanalnettet blir mest mulig konsentrert. Ved å plassere varmeveksleren sentralt i boligen og bruke bakkantinnblåsing til de enkelte rom, kan kanallengdene gjøres kortest mulig. Korte kanalstrekk kombinert med noe større dimensjoner enn vanlig, gir lave lufthastigheter og dermed et lavt trykklfall. Dette igjen fører til at energiforbruket for viftemotorene er lavt, samtidig som støynivået fra ventilasjonsanlegget reduseres. Lydfeller bør allikevel påmonteres avtrekks- og tilløpskanalen. Energiforbruket for viftemotorene kan reduseres ytterligere ved at en motor driver begge viftene.

Da varmeveksleren under gunstige forhold uten ising har en temperaturvirkningsgrad på hele 80 - 90%, bør denne plasseres i et oppvarmet rom med sluk for drenering av kondensvann. Med en årlig temperaturvirkningsgrad på 80 % vil potensialet for energibesparelse i referanseboligen ligge på ca. 5.000 kWh. Dette forutsetter en lufttett bolig. Laveste temperatur på innblåsningsluften vil da under dimensjonerende forhold ligge på ca. 14.0 °C. Det er da ikke nødvendig med noe ettervarming av luften.

På grunn av isingsproblemer vil det ikke være mulig å opprettholde denne høye energibesparelsen på årsbasis. Når utelufttemperatur faller under -5 og -10 °C, vil man kunne få

en isdannelse i varmeveksleren. Dette er uheldig idet det nettopp i denne perioden er viktig å ha en varmeveksler med god virkningsgrad. Ismengden vil være avhengig av fuktforholdene i avtrekksluften og utførelsen av varmeveksleren. Det er viktig at kondensvann som dannes i varmeveksleren ikke renner ned i frostsonen. I tette godt isolerte boliger kan man regne med en gjennomsnittlig relativ fuktighet over fyringssesongen på ca. 40%. Under gjenfrysningsperioden vil virkningsgraden for varmeveksleren falle, vesentlig på grunn av dårlig varmeoverføring og noe økt trykktap. Man må derfor ha et system for å fjerne eller forhindre denne isdannelsen. Det finnes flere metoder for å oppnå dette. Felles for de fleste systemene er at de forbruker energi.

En metode er å la avtrekksluften selv tine opp isen ved i perioder å koble ut tilluftsviften. Dette må gjøre relativt hyppig da selv en liten isdannelse vil redusere varmevekslerens virkningsgrad. Enkelte systemer går på å stoppe innblåsningsviften 15 minutter pr. time når utetemperaturen er lavere enn $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hvis ventilasjonsmengden skal opprettholdes, vil man i kalde perioder under vinteren ha 6 timer pr. døgn der man ikke ha varmeveksling av ventilasjonsluften. Hvis utetemperaturen er $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ vil dette føre til et ventilasjonsvarmetap over døgnet når ventilasjonsmengden er $150\text{ m}^3/\text{time}$: ($150\text{ m}^3/\text{time}$ vil gi en vanlig bolig en ventilasjonsgrad på ca. 0.5 oms/h).

$$Q = c_p \cdot q \cdot \Delta t \cdot 6$$

c_p = Luftens varmekapasitet = 1.0 kJ/kg K

q = Luftmengden = $(150/3600) \cdot 1.3 = 0.054\text{ kg/s}$

Δt = Temperaturdiff. = $t_i - t_u = 22 + 10 = 32\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$Q = 1.0 \cdot 0.054 \cdot 32 \cdot 6 = 10.4\text{ kWh pr. døgn}$$

Med denne tineprosedyren vil man pr. døgn med en utetemperatur på $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ tape en energimengde som ganske nøyaktig svarer til varmtvannsforbruket. Sett over året vil energiforbruket for å tine isen for en normal Oslovinter ligge i størrelsesorden $400 - 500\text{ kWh}$. Det er da tatt hensyn til en noe dårligere virkningsgrad også under innfrysingsperioden. For kaldere klima vil dette tapet bli betydelig høyere. Med redusert virkningsgrad for varmeveksleren vil isingsproblemet bli mindre. Det kan da være nødvendig å ettervarme ventilasjonsluften.

En mer effektiv måte å hindre isdannelsen er å forvarme tilluften. En sørger da for at tilluften ikke får lavere temperatur enn ca. $-5.0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dette styres av en termostat.

Ising forhindres da avløpsluften ikke avkjøles under frysepunktet. I regneeksemplet med Oslo klima vil nødvendig varmetilførsel være ca. 250 kWh eller en reduksjon i energiforbruket med ca. 40 % i forhold til eksemplet med en tidsbestemt tining. I dette tilfellet vil det ikke være behov for en ettervarming av luften hvis varmevekslerens virkningsgrad $> 70 \%$.

Det finnes imidlertid også muligheter for å forvarme ventilasjonsluften uten tilskudd av kjøpt energi.

9.2 Forvarming av ventilasjonsluften uten tilskudd av kjøpt energi

Avkastluften kan føres over tak, mens det ikke er uten betydning hvor man har friskluftsinntaket. Det kan være gunstig å ha en forvarming av luften under vinterforhold og tilsvarende avkjøling av luften om sommeren. Man kan f.eks. om vinteren trekke luften inn fra den glassoverbygde boden, se Bilag 1, da temperaturen her er noe høyere enn utelufttemperaturen. Dette forutsette imidlertid at man har et annet inntak om sommeren for å forhindre overtemperaturer. Denne forvarmingen vil ikke være tilstrekkelig til å forhindre isdannelse i en platevarmeveksler.

En annen mulighet er å trekke luften inn gjennom et rør som er gravd ned i grunnen. Man oppnår da i prinsippet en forvarming av luften under vinterforhold og en avkjøling under sommerforhold. For ikke å måtte legge røret dypere enn ca. 1.0 m, bør røret ligge i snødekket mark. I tillegg kan man f.eks. legge noe isolasjon over røret, fig. 9.2.

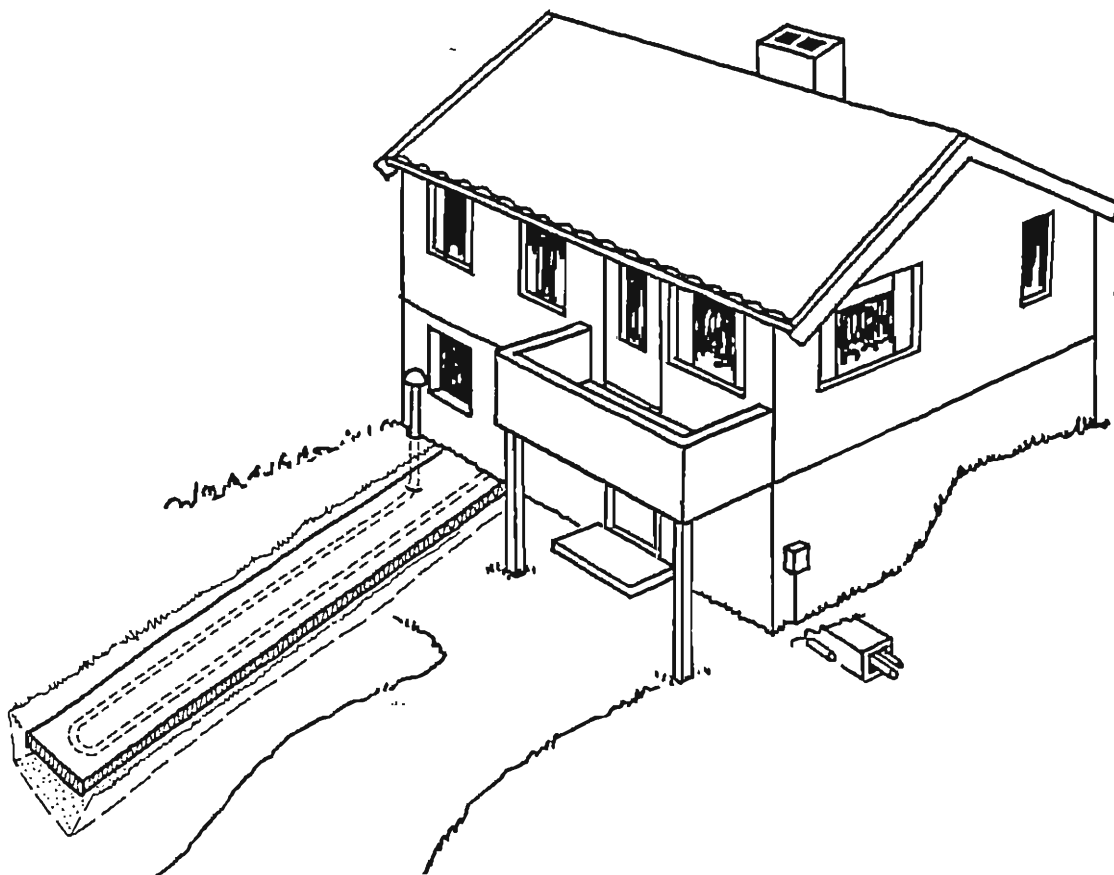


Fig. 9.2. Jordrør for forvarming/avkjøling av ventilasjonsluften

En horisontal isolasjonsplate over røret vil forhindre at for meget varme tapes fra grunnen i en barfrostperiode. Tilsvarende vil man få noe lavere jordtemperaturer under sommerforhold. Det er også en fordel å bruke et korrugert rør for å få et større overflateareal mot jordmassen. Lengden på røret, og om man vil bruke flere parallelle rør vil være bestemt av klimaforholdene, grunnmaterialene og hvilken forvarming man ønsker å oppnå. På grunn av de jordtemperaturene man har i Norge vinterstid, kan man ikke forvente å få temperaturer på luften over frysepunktet.

Det er viktig at røret legges i godt ledende masser. Dette kan være masser med høyt vanninnhold f.eks. siltig materialer. Hvis rørene legges i fjellterreng bør man bruke kvartsholdig sand som omfyllingsmateriale. Kwartsholdig sand har en høy varmeledningsevne.

Selv om det brukes en varmeveksler med høy virkningsgrad (70 - 80%), vil energisparingen ved å forvarme luften med et jordrør kunne være interessant. Hvis det forutsettes at tilluften ikke er lavere enn 0 °C, vil dette kunne gi en energibesparelse i størrelsesorden 500 kWh. I tillegg vil man forhindre isdannelse av varmeveksleren og erstatter dermed en forvarmer med

termostat. Man får en optimal virkningsgrad av varmeveksleren over hele fyringssesongen. Et annet forhold er at man oppnår en ikke ubetydelig kjøleeffekt under sommerforhold.

For å forhindre ising må jordrøret dimensjoneres slik at lufttemperaturen ikke skal falle under -5°C .

Hvis man forutsetter en midlere ventilasjonsmengde på $150\text{ m}^3/\text{h}$ kan man f.eks. legge ned en rørsøyfe som vist på fig. 9.2. Hvis rørdiameteren er 125 mm vil lufthastigheten være 3.4 m/s . I dette tilfellet kan man regne med et midlere varmeovergangstall mellom luften og røret på ca. $20.0\text{ W/m}^2\text{K}$. Avstanden mellom rørene i rørsøyfen vist på fig. 9.2 bør være min. 300 mm , og rørene legges i en dybde på minst 1.0 m . Over røret legges en isolasjonsplate med bredde på 0.6 m og en tykkelse på 50 mm . Rørlengden fastlegges på bakgrunn av grunn- og klimaforholdene på stedet. I dette tilfelle med Oslo klima og fuktig blandingsjord, bør en grøftelengde på 10 m som gir en total rørlengde på 20 m være tilstrekkelig for å sikre at inntaksluften ikke faller under -5.0°C . Det skal en relativt beskjeden økning til i rørlengden for å sikre at tilluften ikke faller under 0°C . Man har da et potensiale for energisparing i størrelsesorden $500 - 1000\text{ kWh}$.

10 VEGG- OG TAKELEMENTER

Vegger og tak i en lavenergibolig skal i tillegg til rent bærende funksjoner ha lave transmisjonsvarmetap. Bygningskonstruksjonens lufttetthet spiller også en stor rolle for bygningens netto varmetap. Bedre tetthet øker potensialet for varmegjenvinning. Vegg og takkonstruksjonen bør derfor utføres så lufttette som mulig. Samtidig må veggene ikke være for tykke og dermed arealkrevende. Dette vil også kunne slå ut på produksjons- og monteringskostnadene som bør være lave. Vegger og tak skal tåle de klimapåkjenninger de blir utsatt for og ha gode lyddempende egenskaper.

Varmeteknisk er det spesielt viktig at vegger og tak ikke har kuldebroer av noen art. Gjennomgående trestendere i vegg- og takelementer, rundt vinduer etc. er uheldig og vil føre til kuldebroer som igjen vil øke varmetapet (U-verdien). En måte å redusere kuldebroeffekten er å bruke I-profiler, se fig. 8.2.1a.

I lavenergiboligen Bilag 1 er det brukt 250 mm tykke I-profiler både i vegger og tak. For ytterligere å forhindre kuldebroer ved bjelkelag og overgangen vegg/fundament og vegg/tak og samtidig forenkle det bærende systemet, er innerflensen i dette

tilfellet forsterket og utgjør den bærende del av veggen, se fig. 10 a og b. Dette er også gunstig i de tilfellene der man har utvendig isolasjon på ringmuren, gulv/varmelageret, fig. 10 c.

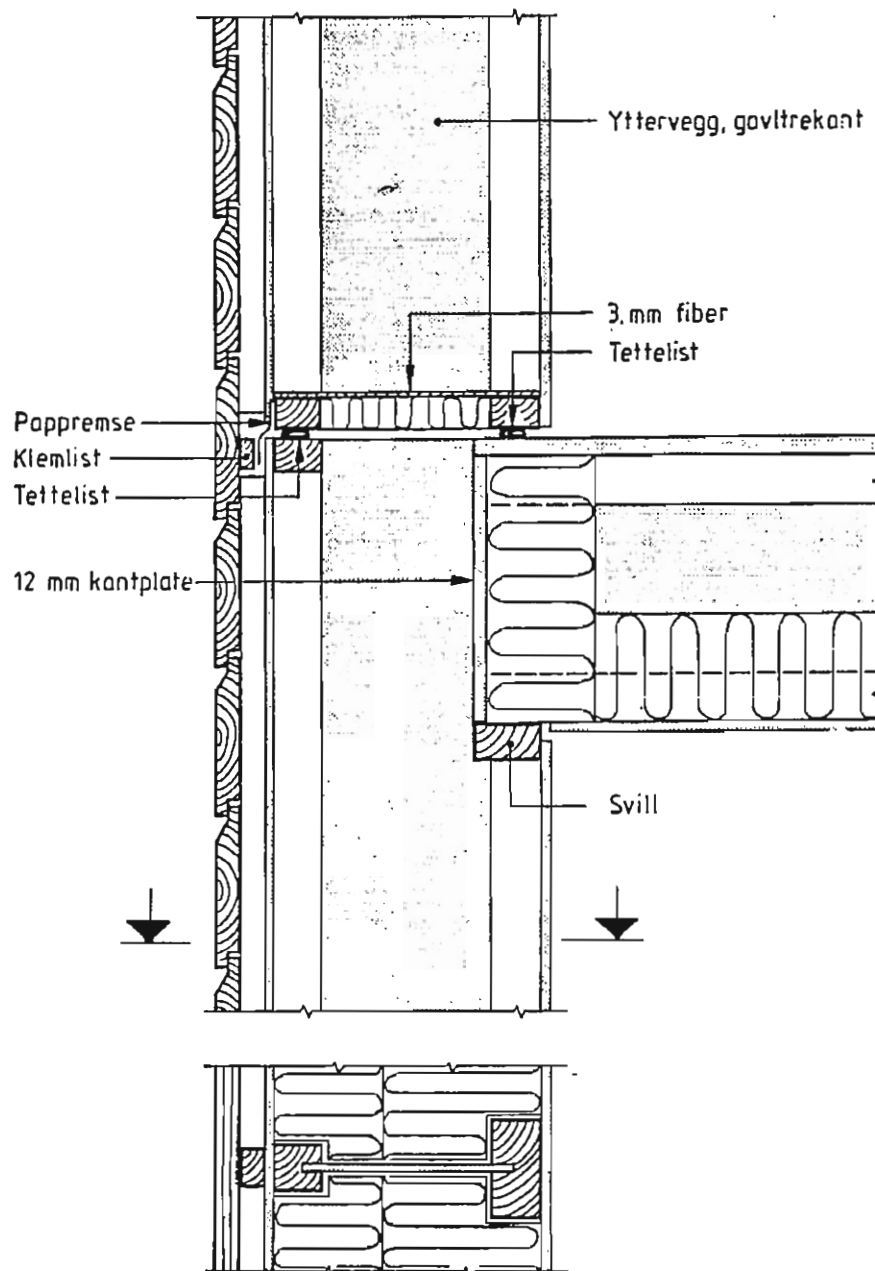


Fig. 10 a. I-profiler med bæring på innerflens. Detaljer ved overgangen vegg/bjelkelag.

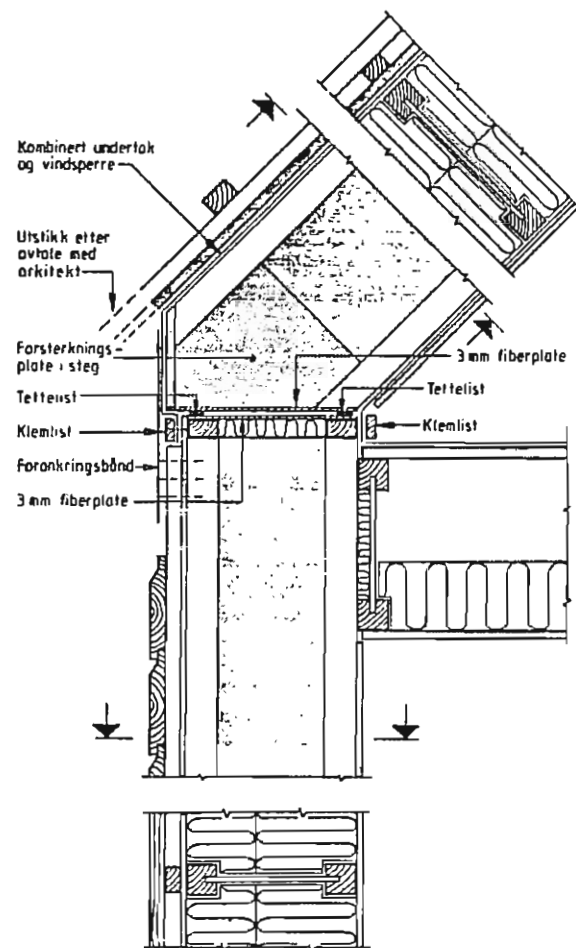


Fig. 10 b. I-profiler med bæring på innerflens. Detaljer ved overgang vegg/tak

Veggen med 250 mm I-profiler og bruk av vanlig mineralull isolasjon, vil ha en U-verdi på $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$. En konvensjonelt oppbygget bindingsverksvegg med samme tykkelse, har en U-verdi på $0.18 \text{ W/m}^2\text{K}$. Bruk av I-profiler gir i dette tilfellet en forbedring i veggens U-verdi på ca. 8 %, som er ekvivalent med en økning i veggtykkelsen på ca. 20 mm. Når man skal foreta en reell sammenligning av veggens egenskaper inngår derfor både veggens U-verdi og tykkelse. Kostnadsanalyser for vegger med samme U-verdi, viser det at veggen med I-profiler vil kunne konkurrere med tradisjonelt oppbygde vegger allerede ved veggtykkelser på 200–250 mm. Dette er også en veggtykkelse som kan forsvares rent økonomisk med dagens energipriser.

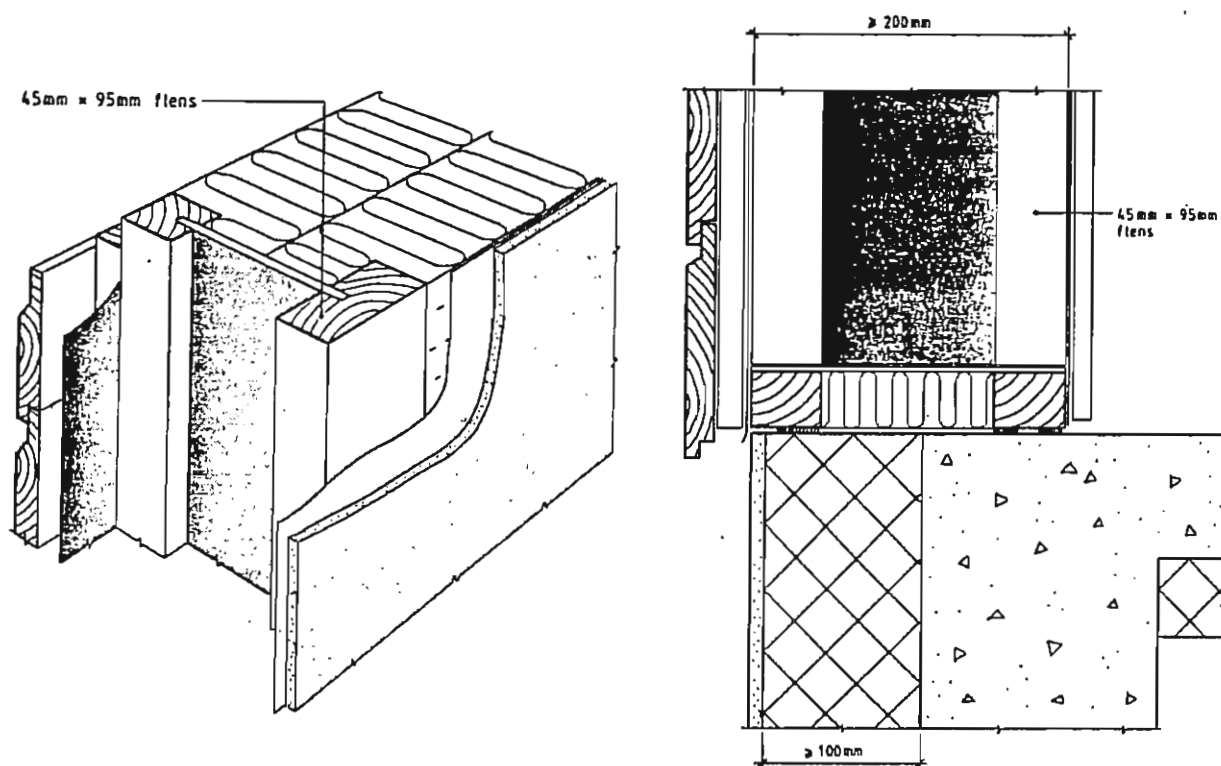


Fig. 10 c. I-profiler med bæring på innerflens. Detaljer ved overgang vegg/fundament

Skal man ytterligere forbedre veggens U-verdi uten å gå opp i veggtykkelse, må det brukes isolasjonsmaterialer med lavere varmeledningsevne enn mineralull. I Bilag 1 er det også vurdert å bruke polyuretanisolasjon (PUR). Den aktuelle vegg vil da få redusert U-verdien med 20 % til $0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$. Praktisk varmeledningsevne for polyuretan er 0.028 W/mK , mineralull 0.036 W/mK og cellulosefiber 0.039 W/mK , se forøvrig NBI byggdetaljer A 573.344.

Da cellulosefiber har ca. 8 % høyere varmeledningsevne enn mineralull, må dette kompenseres ved å øke isolasjonstykkelsen tilsvarende når det brukes cellulosefiber. Med dagens teknologi vil tilleggskostnadene ved å bruke polyuretanisolasjon bli relativt høye. Det skyldes lite effektivt produksjonsapparat og det forhold at polyuretan er relativt kostbart. Man kan også bruke ekstrudert polystyrenisolasjon (XPS) som har en praktisk varmeledningsevne på 0.03 W/mK . Bruk av ekstrudert

polystyrenisolasjon vil kreve en spesiell utførelse av veggelementet da isolasjon ikke skummes inn på samme måte som for PUR isolasjonen.

Det vil være relativt enkelt å øke takisolasjonen uten at dette får samme bygningstekniske konsekvenser som ved å øke veggtykkelsen. Nyere kostnadsanalyser viser at det med dagens energipriser vil være lønnsomt å øke takisolasjonen utover de 250 mm som er brukt i referanseboligen. Det kan være økonomisk grunnlag for å redusere U-verdien for taket helt ned mot 0.1 W/m²K som svarer til tykkelser på 300-350 mm.

11 VINDUER

I lavenergiboliger er det forutsatt å bruke en type høyisolerte vinduer med lavemisjonsbelagt glass innvendig, LE-glass også kalt energiglass. Det kan være både to og treglass ruter med ett eller to energiglass. I treglass ruter med to LE-glass er lavemisjonsbelegget plassert på indre og ytre glass. Rutene kan være både luft- og gassfylte. Vanlig toglass ruter med klart glass slipper igjennom ca. 78 % av total solstråling (lys og varmestråling). Treglass ruter slipper tilsvarende gjennom ca. 70 %. Samlet solvarmetilførsel til rommet, vinduets solfaktor, består av den direkte transmitterte solstrålingen og den sekundære varmetilførselen fra absorpsjon i rutene. Vanlige toglass vinduer har en solfaktor på 0.78 og treglass vinduer 0.7. Nyere typer LE-belagte glass nærmer seg vanlig klart glass når det gjelder lystransmisjon.

Som for de øvrige bygningselementene defineres et vindus varmetap som en "mørk U-verdi". Denne U-verdien angir vinduets varmetap, og brukes når boligens dimensjonerende varmebehov (effekt) skal bestemmes. Ved bestemmelse av boligens energiforbruk må det også tas hensyn til direkte solinnstråling. Tabell 10 angir eksempler på mørk U-verdi for forskjellige vindustyper når det er tatt hensyn til tilleggsvarmetapet fra kantforseglingen og rammekonstruksjonen:

Tabell 10. U-verdi for forskjellige vindustyper når der er tatt hensyn til vindusrammen:

	U-verdi (W/m ² K)
Enkelt glass	5.2
2-lags termorute	2.8
" " med lavemisjonsglass	1.9
" " " og gass (Argon)	1.7
3-lags " "	2.0
" " 1 " "	1.4
" " 2 " "	1.1
4-lags " 2 " "	0.8
2-lags rute med Silica Aerogel	1.1
Vakuumbinduer	0.6

Det finnes også 2-lags vinduer med relativt stor glassavstand (90 mm) med to Polyesterfolier som deler hulrommet. Disse vinduene har en U-verdi ned mot 0.5 W/m²K.

For å forhindre kaldras fra kalde vindusflater bør vinduenes U-verdi helst være lik eller bedre enn ca. 1.7 W/m²K. Dette vil forenkle varmeanlegget med bruk av lavtemperatur gulvvarme. Denne U-verdien kan oppnås både med to og tre glass vinduer. Man får imidlertid en vesentlig energigevinst ved ytterligere å forbedre U-verdien spesielt for nordvendte vinduer.

I eksemplet Bilag 1 er det forutsatt brukt treglass gassfylte vinduer med 2 lavemisjonsglass. Disse vinduene har en U-verdi på 1.0 - 1.2 W/m²K. Solfaktoren for disse vinduene ligger på ca. 0.6. Med dagens energipriser kan det rent privatøkonomisk forsvares å bruke disse vinduene. Imidlertid krever en optimalisering at man vurderer vindusareal og vindustyper for forskjellige orienteringer. Da ikke alle boliger har en optimal plassering i forhold til sola, vil det generelt være vinduets varmeisolerende egenskaper som bør prioriteres. For at effektbehovet ikke skal bli for stort, bør alle vinduene uansett orientering ikke ha en dårligere U-verdi enn ca. 1.7 W/m²K, se forøvrig byggetaljer A 571.953.

12 Solvarme

I referanseprosjektet Bilag 1 er det forutsatt brukt solfangere på hver bolig på ca. 40 m². Dette er gjort for å få størst mulig dekningsbidrag for energiforbruket i hver bolig. For å kunne utnytte energioverskudd i perioder med solinnstråling, er det nødvendig å kunne lagre energi i form av varmt vann. Varmekapasiteten på varmelageret bør kunne svare til to til tre

døgns varmebehov. Dette gir en minimumstørrelse på varmelageret for en bolig med 100 m² boligflate på ca. 4 m³ eller tilsvarende ca. 8 m³ betong. I referanse prosjektet har vi brukt både vann (400 l) og betong (10 m³) som varmelager, da vi også ønsker å bruke solvarme til å redusere varmetapet fra gulvet til grunnen.

Skal systemløsningen med en egen solfanger tilknyttet hver lavenergibolig være lønnsom, forutsetter dette en enkel utførelse av solfangeren og at denne er en integrert del av takkonstruksjonen med begrensede tilleggskostnader. Dette er ikke helt tilfelle med det solfangersystemet som er vurdert, der det må regnes med tilleggskostnader på 100 - 200 kr/m² talflate, se Bilag 1. Dette kan imidlertid endres ved videre produktutvikling av systemet.

Det er valgt et delvis åpen solfangersystem som er vesentlig enklere enn et tradisjonelt lukket system, se byggdetaljer A 552.455. Da taket dreneres av seg selv når det ikke er sol, er det ikke nødvendig å bruke frostvæske. Effektivitetsgraden for denne solfangeren er noe lavere enn de lukkede systemene spesielt ved høyere vanntemperaturer, se fig. 12. Generelt for alle solvarmeanlegg vil effektivitetsgraden øke når temperaturforskjellen mellom vann- og lufttemperaturen reduseres, varmetapet blir mindre.

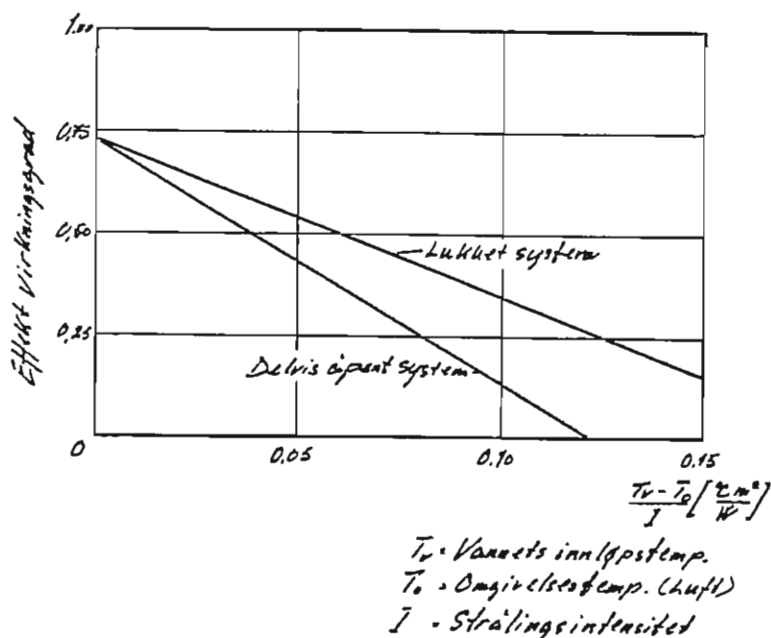


Fig. 12. Effektivitetsgraden for forskjellige solfangersystemer.

Lave vanntemperaturer oppnås ved å ha et stort varmelager. Avhengig av temperaturnivået kan lavtemperert vann direkte brukes i gulvvarmeanlegg, til å redusere varmetapet fra gulvet

og forvarming av varmtvannet. Normalt vil solfangerens primære oppgave være å produsere varmt forbruksvann der behovet er relativt konstant over hele året. Varmtvannsforbruket for vanlige husholdninger ligger i størrelsesorden 3.500 kWh til 5.000 kWh. For å utnytte solvarmen også ved lave strålingsintensiteter, er det viktig at varmtvannsberederen er utført slik at solvarmen forvarmer varmtvannet der elektrisitet eller fjernvarme er primær varmekilde. Dette kan f.eks. gjøres ved å bruke to tanker som er montert i hverandre. Den ytre tanken inneholder det vannet som sirkulerer gjennom solfangeren, og den indre tanken rommer bruksvannet, se Bilag 1.

På grunn av god isolering og høyisolerte vinduer i en lavenergibolig, vil varmebehovet til boligoppvarming når vi har tilgang på solvarme være beskjeden. Av de 3.200 kWh som kan nyttiggjøres fra solfangeren i referanseprosjektet Bilag 1 (ca. 40 m² solfangerareal pr. bolig), vil ca. 35% eller 1.200 kWh gå til boligoppvarming, resten til produksjon av varmtvann. Dette er en meget dårlig utnyttelse av solfangeren. Man har lengere perioder med høy innstråling der varmetilskuddet fra solfangeren overstiger behovet.

Da dagens solfangere representere en betydelig tilleggskostnad, er det viktig at energiutbyttet pr. m² solfangerareal økes for å få bedre lønnsomhet. Dette oppnås ved å redusere det totale solfangerarealet og koble sammen flere brukere. I stedet for individuelle løsninger kan det bygges en energisentral som plasseres sentralt i området. Energiutbyttet pr. m² solfangerareal vil da bli vesentlig større, mens dekningsbidraget for solenergi som er bestemt av solfangerarealet vil bli mindre. Dette betyr igjen større tilskudd av kjøpt energi. Valg av solfangertype i dette tilfellet vil være bestemt virkningsgrad og kostnader.

Solfangere med høy virkningsgrad kan monteres i eksisterende boliger som ofte har betydelig varmebehov. Her burde grunnlaget for en tilfredstillende økonomi være tilstede også med dagens energipriser.

13 ENERGISENTRAL

Fig. 13 viser i prinsippet eksempel på oppbyggingen av en energisentral. Primærenergi kan tilføres fra elektrisitet eller fjernvarme og der solenergi utgjør et supplement. Fjernvarme kan igjen produseres med bruk av varmepumper, søppel-forbrenning, biobrensel etc. Varme avgitt fra det grå spillvannet kan også utnyttes direkte i energisentralen til forvarming av varmtvannet eller via en varmepumpe. I

referanseprosjektet Bilag 1 inngå det grå spillvannet i de enkelte boligers varmesystem.

Energisentralen fig. 13, er bygd opp av 3 stk. moduler som består av en forvarmer-, en bereder- og en varmevekslerenhet for lavtemperaturvarme. Forvarmeren er tilkoblet solfangeren evt. grått avløpsvann. Både bereder- og varmevekslerenheten er utstyrt med en elkolbe. I tillegg kan disse få tilført fjernvarme. For å øke systemets varmekapasitet under sommerforhold med rikelig tilgang på solvarme, kan det være en direkte ledende forbindelse mellom bereder- og varmevekslermodulen for lavtemperaturvarme. Man kan også koble forvarmerenheten til et større eksternt varmelager. Igjen er det viktig å fastslå hva man kan oppnå rent energimessig ved f.eks. å øke varmelagerets størrelse. Alle tiltak som bare gir marginal økning av energitilskuddet, men gjør anlegget mer komplisert, bør unngås.

Når man kobler sammen solvarme med fjernvarme er det viktig at man ikke foretar en suboptimalisering, men ser på totaløkonomien i systemet. I enkelte tilfeller kan det være en fordel å koble ut fjernvarmeanlegget i sommerhalvåret da varmetapet i rørnettets ligger i samme størrelsesorden som forbruket. En utkobling i perioder kan evt. også bety en forlenget levetid av anlegget. I andre tilfeller er drift i sommerhalvåret en forutsetning for fjernvarmeanleggets lønnsomhet. Dette er forhold som vil bestemme hvilken energipris man skal sette på solenergien for totalt sett å oppnå best lønnsomhet. Det forutsettes da at produksjon av fjernvarme er basert på fornybare energikilder.

Varmt forbruksvann bestemmer temperaturnivået. Det er tilstrekkelig med en temperatur på 50 - 60 °C. Vi har da å gjøre med et lavtemperaturanlegg. Dette forenkler distribusjonen av varmt vann, og reduserer varmetapet i vesentlig grad.

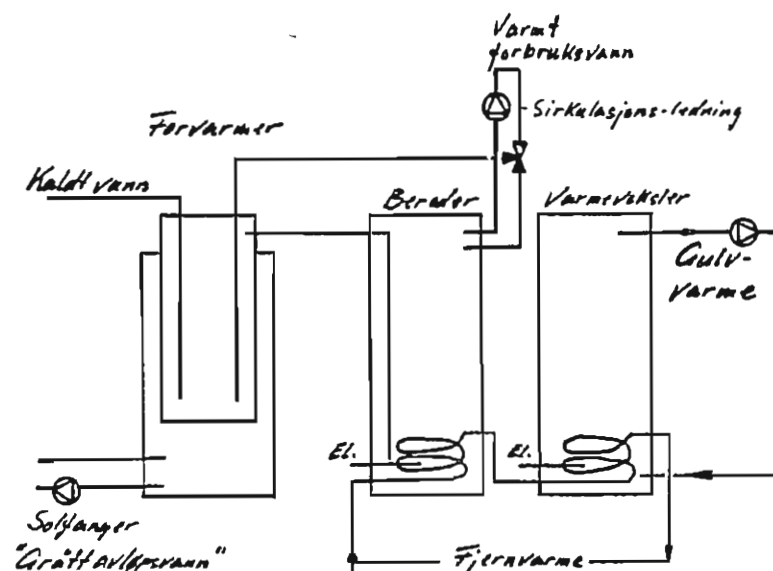


Fig. 13. Prinsippskisse. Energisentral med forvarmer, forrådsbereder og varmeveksler for lavtemperaturvarme

14 DISTRIBUSJON AV VARMEENERGI I FORM AV VARMT VANN

Ved bruk av en energisentral for flere boligheter, vil det være behov for å distribuere varmeenergi i form av varmt vann. Hvordan distribusjonssystemet skal utføres vil være avhengig av boligantallet. Det er her forutsatt at boligantallet er relativt beskjedent f.eks. 10 - 20 boligheter. I prinsippet kan det være flere hundre boliger som kan være tilknyttet en energisentral, se NBI byggdetaljer A 515.505.

Når det er et relativt begrenset antall boliger som er tilknyttet energisentralen og man samtidig har lave vanntemperaturer, bør det velges et direkte system. Vannet i fordelingsnettet sirkulerer da i abonnentens eget varmesystem. På grunn av et lavt energiforbruk til oppvarming, vil rørdimensjonene være små.

For å kunne holde et lavest mulig temperaturnivå, bør også det varme forbruksvannet forsynes via et eget rørnett. Vanntemperaturen i dette rørnettet holdes oppe ved at alle varmerørene legges inne i en felles isolasjonskasse. Hvis varmeanlegget ikke er i drift f.eks. i sommerhalvåret, startes pumpen i sirkulasjonsledningen. Også i dette tilfellet vil rørdimensjonene være beskjedne. Allerede ved et boligantall på 10 vil samlagingsfaktoren ligge på 0.3.

Når vi har valgt å bruke et eget rørnett både for forsyning av

varmt forbruksvann og til oppvarming skyldes dette flere forhold. Det har i de senere år blitt utviklet en rekke typer rimelige plastrør for transport av varmt vann. Spesielt for lavtemperaturvarme ($\leq 60\text{ }^{\circ}\text{C}$) foreligger det en rekke typer plastrør som kan brukes, se fig. 4.1.1. Dette har helt endret kostnadsbildet sett i relasjon til kopper og stålrør. I tillegg til høye material- og leggekostnader for stål- og kopperrør, måtte man også ta hensyn til termisk ekspansjon og korrosjonsproblemer.

Separate rørsystem vil gi en enkel boligtilknytning uten bruk av varmevekslere og kompliserte reguleringsystemer. Vanntemperaturen kan holdes lav da man slipper temperaturtap i varmevekslere. Man kan bruke nettrykket i kaldtvannsledningene til å transportere varmt forbruksvann ut til boligene uten bruk av pumpe. Disse ledningen kan også utføres av plastrør uten spesiell sperre for oksygendiffusjon.

Når det gjelder forsyningsrørene for vann til oppvarming vil varmeanlegget i boligen være bestemmende for rørtypen. Hvis boligene er utført med gulvvarmeanlegg med plastrør, kan man i prinsippet holde en lavere temperatur og bruke vanlig rørkvalitet. Hvis det er brukt radiatoranlegg i stål, må det brukes plastrør med diffusjonssperre for å unngå korrosjonsproblemer. På grunn av lave temperaturforhold vil dette vanligvis gi tilfredstillende levetid på anlegget.

Da alle plastrør, selv de med diffusjonssperre, vil slippe inn noe oksygen, er det generelt en fordel ikke å blande plastrør og stålsystemer. Alle forhold tilsier derfor at det er gunstig å bruke et gulvvarmesystem med plastrør i boligene. Det finnes også radiatorer i kopper eller rustfritt stål som tåler oksygenrikt vann, men disse er mer kostbare enn vanlige stålradiatorer.

I praksis kan det være en fordel om man bruker samme rørmaterialer f.eks. polybutylen eller polypropylen i alle rørene. Dette vil forenkle tilknytningen til boligene. Hvis det brukes forskjellige materialtyper vil man derimot være sikret mot feilkoblinger. Man kan f.eks. bruke tverrbundet polyetylen (PEX) rør til tappevannet. Dette vil ha noe høyere vanntrykk enn vannet til varmeanlegget.

Den enkleste og rimeligste måten å isolere varmerørene er å legge alle rørene i en felles isolasjonskasse. Isolasjonsmaterialet er ekstrudert polystyren som tåler å ligge i grunnen uten fuktbeskyttelse. Ekstrudert polystyren tåler driftstemperaturer opp mot $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ved å legge alle rørene inne

i en isolasjonskasse forenkles leggesprosessen vesentlig idet alle rørene kan legges ned samtidig uten fuktbeskyttelse. Ved bruk av gulvvarme vil temperaturen i returrøret fra varmeanleggene ligge noe lavere enn de øvrige. Ved å ha luft i kassen vil varmeoverføringen fra de andre rørene til returrøret være beskjedent. Det er derfor ikke nødvendig å tilleggsisolere returrøret. Man har da også mulighet til å trekke ut et rør og erstatte dette uten å grave opp. Dette kan være spesielt gunstig der traseen passerer veier eller boliger. Man kan også fylle kassen med pukk eller lettklinker. Dette vil stive opp kassen hvis denne er utsatt for trafikklast. Ved å legge alle varmerørene inne i en felles isolasjonskasse vil man få et meget lavt varmetap fra rørene. Det er ikke nødvendig å bruke en sirkulasjonspumpe for å holde oppe vanntemperaturen i varmtvannsledningen når varmeanleggene er i drift.

Grøftekostnadene reduseres til et minimum ved å legge isolasjonskassen med varmerørene i fellesgrøft med VA-ledninger og kabler, se fig. 14. Isolasjonskassen inngår som en del av frostsikringen av VA-ledningene.

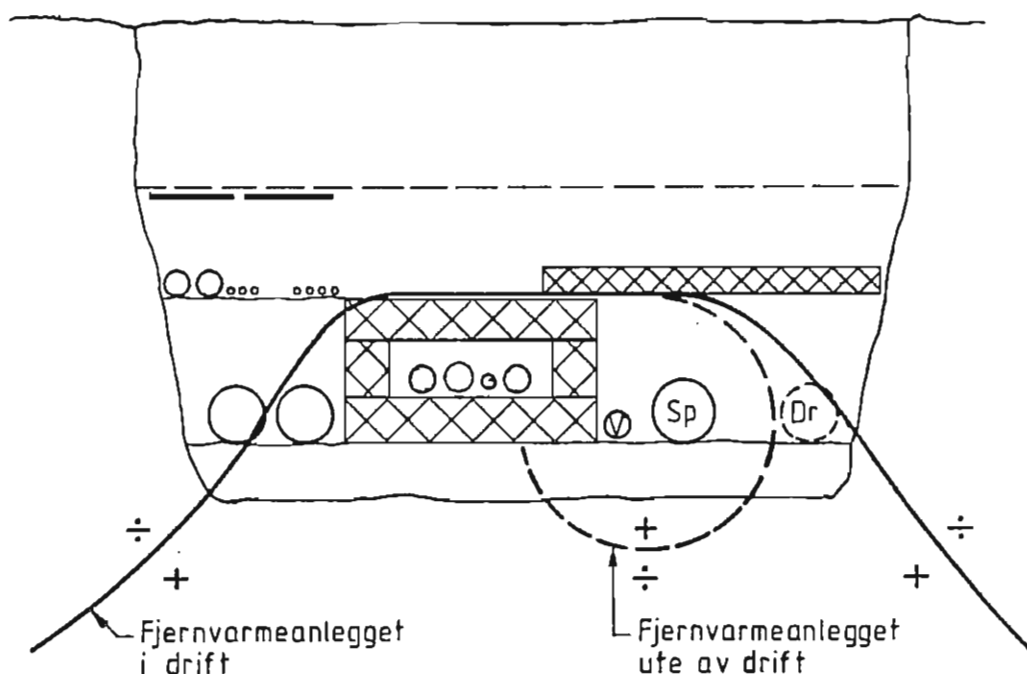


Fig. 14. Distribusjonssystem for varme til boligoppvarming og varmt forsyningsvann

Ved å bruke fellesgrøfter for de tekniske anleggene og ha en felles tilkobling i boligene, vil varmerørene kunne legges ned i grunnen uten skjøter. Dette reduserer leggekostnadene og vil gi et meget sikkert anlegg.

15 Dynamisk isolasjon og lavenergiboliger

I prinsippet er det mulig å trekke ventilasjonsluften gjennom tak og veggisolasjonen. Dette oppnås ved å etablere en trykkdifferanse over konstruksjonen samtidig som denne er relativt luftåpen. Man har da mulighet for å gjenvinne hele eller deler av transmisjonsvarmetapet. Isolasjonsmaterialet opptrer da som en form for varmeveksler og har i denne sammenheng fått betegnelsen dynamisk isolasjon. Dette er en teknikk som i Norge er brukt i forbindelse med ventilasjon av husdyrrom innen landbruket. Man ønsker her et rimelig trekkfritt luftinntak for å løse et ventilasjons- og overtemperaturproblem. Det vil da ikke være varmegjenvinning av transmisjonsvarmetapet som er det primære. I en lavenergisammenheng i tilknytning til vanlige boliger vil det imidlertid også være varmegjenvinningen som det er viktig å utnytte. Konstruksjonene er derfor ikke direkte sammenlignbare. Utførelsen er bare i liten grad utprøvd systematisk i vanlige boliger i Norge. Prinsippet med å bruke en dynamisk isolasjon er vist på fig. 15. Det forutsettes at man har en kontrollert luftstrøm gjennom konstruksjonen som igjen krever at man har kontroll over trykkforholdene over konstruksjonen.

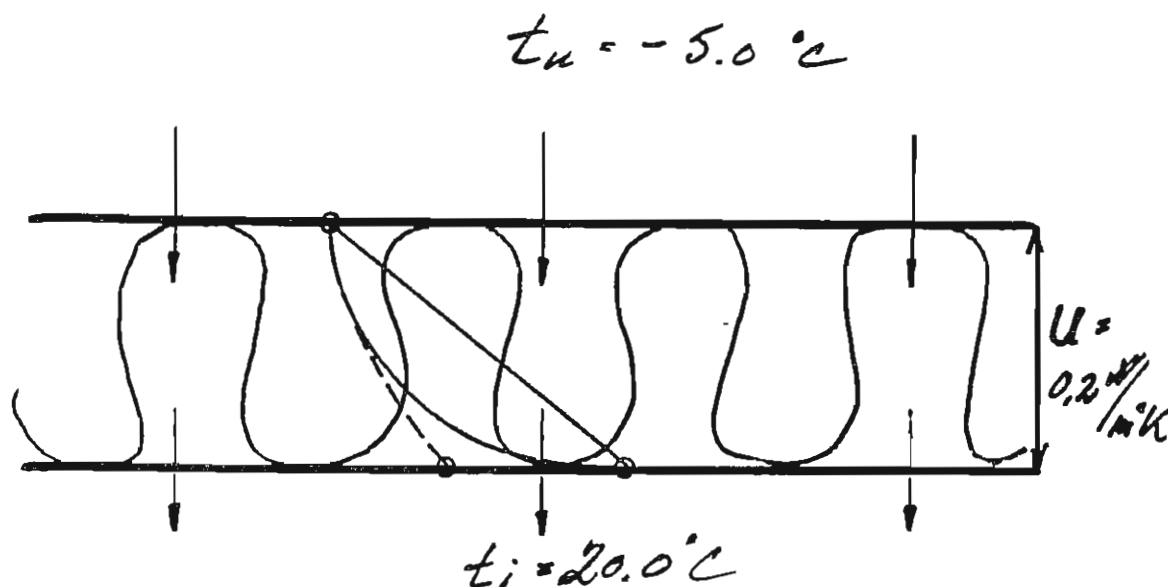


Fig. 15. Dynamisk isolasjon, temperaturgradienten over isolasjonen med og uten luftgjennomgang

Skal man oppnå en forvarming av luften fremgår det av fig. 15 at det må være en balanse mellom den luften som trekkes gjennom konstruksjonen og transmisjonsvarmetapet. Trekkes det for mye luft gjennom konstruksjonen, vil uteluften få utilstrekkelig

forvarming, se fig. 15: For å få et begrep om hvilke størrelser på nødvendig infiltrasjonsareal det er snakk om for en vanlig bolig, kan vi se på et eksempel. Hvis man har en tak- eller veggkonstruksjon med en U-verdi på $0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ vil varmetapet pr. m^2 være:

$$Q = U \cdot \Delta t = 0.2 \cdot 25 = 5.0 \text{ W/m}^2$$

I dette tilfellet er lufttemperaturen inne 20°C og utetemperaturen -5°C . Potensialet for varmegjenvinning vil da være 5.0 W/m^2 . På grunn av et lite transmisjonsvarmetap vil det være relativt beskjedne luftmengder som kan slippes gjennom konstruksjonen. Hvis vi regner med en ventilasjonsluftmengde q på $125 \text{ m}^3/\text{h}$ (vanlig bolig), vil dette kreve et infiltrasjonsareal A på:

$$A = c_p \cdot q/U = 1.0 \cdot 125/3600 \cdot 1.2 \cdot 1000 / 0.2 = 208 \text{ m}^2$$

$$c_p = \text{Luftens varmekapasitet} = 1.0 \text{ kJ/kg K}$$

For en vanlig bolig kreves det i dette tilfellet et infiltrasjonsareal på hele 208 m^2 . For å oppnå et minimalt energiforbruk er det forutsatt at uteluften varmes opp til 20°C . Infiltrasjonsarealet er bestemt av konstruksjonens U-verdi og ventilasjonsluftmengden, men uavhengig av lufttemperaturen.

For å få kontrollerte forhold er det gjerne takflaten som benyttes til infiltrasjon mens den øvrige konstruksjonen gjøres lufttett. For en mindre bolig vil takflaten være $60 - 100 \text{ m}^2$. Det vil derfor bare $25 - 50 \%$ av nødvendig ventilasjonsluftmengde for en vanlig bolig som kan trekkes gjennom takarealet. Rent ventilasjonsteknisk er det mulig å trekke gjennom noe mer luft (luften får da lavere temperatur) uten at dette skaper trekkproblemer. Dette vil imidlertid gå på bekostning av et større energiforbruk. Problemet i praksis vil være hvordan man kan oppnå kontrollerte trykkforhold uavhengig av vind. På grunn av relativt små trykkdifferanser kan man i perioder risikere at luften kan gå den "gale" vegen gjennom taket. Man vil da kunne få problemer med kondens i isolasjonen. Det er også et spørsmål om det kan oppstå helsemessige problemer på grunn av magasinering av forurensing i isolasjonen. Dette problemet vil bli ytterligere alvorlig hvis det i perioder kondenseres ut fuktighet i isolasjonen. Et annet problem som kan oppstå hvis man trekker luften inn gjennom taket er overtemperaturer om sommeren. Riktig utført vil man med bruk av dynamisk isolasjon kunne unngå fuktproblemer i takkonstruksjonen som ellers kan

være et problem spesielt i skråtak. Man vil også kunne redusere bruken av tilluftskanaler.

Man kan imidlertid ikke umiddelbart slutte at man ved bruk av konstruksjoner med dynamisk isolasjon i boliger oppnår ventilasjonstekniske fordeler som ikke kan oppnås ved en tradisjonell utførelse med balansert ventilasjon.

Etter hvert som isolasjonsstandarden øker vil transmisjonsvarmetapet gjennom vegger og tak være meget beskjeden. I en lavenergisammenheng vil dette varmetapet ligge i størrelsesorden 2.000 kWh/år. Det er derfor relativt små energimengder som kan gjenvinnes ved bruk av dynamisk isolasjon. Ved samtidig å utføre boligen med en kontrollert lufttetthet, vil man ved bruk av enkle varmevekslere kunne gjenvinne nær hele ventilasjonstapet. Man vil også kunne oppnå en på forhånd fastlagt lufttilførsel der man har kontroll med kvaliteten ved hjelp av effektive filtre. Rent energiøkonomisk er det derfor lite å hente ved bruk av konstruksjoner med dynamisk isolasjon.

De løsninger vi har sett lansert i Sverige med bruk av dynamisk isolasjon er relativt kompliserte der det også er koblet inn en varmepumpe for varmegjenvinning av avtrekksluften. Løsningene er basert på å trekke luften gjennom taket. Det må derfor stilles minst like stort krav til lufttetthet for den øvrig konstruksjonen som når man bruker en ordinær varmeveksler. Allikevel vil det være vanskelig å kontrollere luftstrømmen gjennom taket. Man vil også kunne få problemer med overtemperaturer hvis konstruksjonen brukes om sommeren.

Konstruksjoner med bruk av dynamisk isolasjon i vanlige boliger vil med dagens utførelse neppe kunne konkurrere hverken teknisk eller økonomisk med en løsning med balansert ventilasjon og varmegjenvinning fra ventilasjonsluften ved hjelp av en varmeveksler. Prinsippet med dynamisk isolasjon er imidlertid intressant, men krever absolutt kontrollerte forhold som kan være vanskelig å oppnå i en vanlig bolig. Det foregår for tiden forskning med henblikk på å utvikle systemløsninger med bruk av dynamisk isolasjon også i vanlige boliger.

BILAG 1

Eksempel på en lavenergi-bolig

Energiberegninger, kostnadsvurdering
og systembeskrivelse

Innhold

ENERGIBEREGNINGER	s. 1
Beregningsgrunnlag og metode	s. 1
Varmegjenvinning fra "grått" avløpsvann	s. 2
Solvarmeanlegg	s. 5
ANSLAG OVER TILLEGGSKOSTNADER FOR ENERGISPARENDE TILTAK	s. 6
VARMEANLEGG	s. 10
Beskrivelse	s. 10
VENTILASJONSANLEGG	s. 11
Beskrivelse	s. 11
VEDLEGG 1	
Bygningsvolum, arealer, U-verdier og beregningsutskrifter	
VEDLEGG 2	
Systembeskrivelse av solvarmeanlegg og solbereder	
VEDLEGG 3	
Simulering av solenergiutbytte	
VEDLEGG 4	
Eksempel på en lavenergibolig. Boligen er brukt som grunnlag for energiberegningene	

ENERGIBEREGNINGER

Beregningsgrunnlag og metode

Energiberegningene er utført med dataprogrammet FRES- Fleksibel Romklima- og EnergiSimulator utviklet av SINTEF Varmeteknikk/Institutt for VVS.

Det er brukt en romtemperatur på 20 °C (gulvvarmeanlegg), nattsenkning 18/20 °C og en internlast fordeling over året etter NS 3031. Som grunnlag for energisimuleringene er klimadata hver time for årene 1964 og 1969 benyttet. Energiberegninger med dataprogrammet FRES er utført på timebasis. Årene 1964 og 1969 kan karakteriseres som representative klimaår for Oslo som er noe kaldere enn et normalår som er angitt i NS 3031. Det er regnet med en infiltrasjonen på 0.1 luftvekslinger/time (NS 3031).

Utskrift av bygningenes volum og arealer med tilhørende U-verdier og energiberegninger er vedlagt i tabellform, vedlegg 1.

	1964 kWh	1969 kWh	Middel kWh
Oppvarming	2.382	2.904	2.643
Ventilasjon	960	960	960
Varmtvann	3.500	3.500	3.500
Husholdning	2.112	2.112	2.112
SUM	8.954	9.476	9.215

Nattsenkningen utgjør en årlig energibesparelse på ca. 250 kWh/år eller ca. 10 % av oppvarmingsbehovet. Tilsvarende energibesparelse oppnås ved å erstatte nattsenkningen med en temperatursone inndeling der 2.etasje bortsett fra bad og gang holder en temperatur på 18 °C.

Solvarme (37 m ²)	Middel fra 6 simulerte år	≈ 3.200 kWh
Forvarming av varmtvann		≈ 600 kWh
SUM		≈ 3.800 kWh

Kjøpt energi: 9.215 - 3.800 kWh = 5.415 kWh/år

Grunnboligen har en oppvarmet flate på 112 m².

Energiforbruket pr. m² = 48.3 kWh/år (Polyuretanisolasjon i tak og vegger)

Ved bruk av mineralullisolasjon for å redusere tilleggskostnadene blir kjøpt energi:

$$9.215 + 500 - 3.800 = \underline{5.915 \text{ kWh/år}}$$

Energiforbruket pr. m² = 53.0 kWh/år (Mineralullisolasjon i tak og vegger)

VARMEGJENVINNING FRA "GRÅTT AVLØPSVANN" FOR Å REDUSERE VARMETAP FRA FUNDAMENT OG FORVARMING AV VARMTVANN.

Vannledningen deles utenfor boligen med en ledning til varmtvannsberederen i akkumulatortanken som passerer en forvarmingsenhet og en til den generelle vannforsyningen.

Varmtvannsforbruk er oppgitt til 3500 kWh/år ≈ 10 kWh/døgn eller et gjennomsnittlig effektforbruk på 0.42 kW.

Gjennomsnittlig inngangstemperatur på vannet settes lik 7.0 °C, og vannet varmes opp til 55.0 °C, Δt = 48.0 °C.

Vannføringen v i l/s er gitt av uttrykket:

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

Q = gjennomsnittlig effektforbruk = 0.42 kW

c = sp. varme for vann = 4.2 kWs/kg°C

Δt = oppvarmingen = 48.0 °C

$$v = 0.42 / (4.2 \cdot 48) = 2.08 \cdot 10^{-3} \text{ l/s eller } \underline{180 \text{ l/døgn}}$$

I gjennomsnitt produseres det pr. døgn 180 l varmtvann av 55 °C. Gjennomsnittstemperaturen på varmtvannet til forbruk ligger på ca. 40 °C. Dette gir et totalt varmtvannsforbruk (40 °C) på ca. 260 l/døgn når det regnes med en inngangstemperatur på vannet på 7.0 °C. Det er realistisk å regne med et totalt vannforbruk pr. bolig eksl. WC på ca. 320 l/døgn. Vi får da en blandingstemperatur t₀ på det "grå spillvannet" på:

$$260 \cdot (40 - t_0) = (320 - 260) \cdot (t_0 - 7)$$

$$t_0 \approx 34 \text{ °C}$$

Det grå avløpsvannet utgjør i gjennomsnitt 320 l/døgn ved en

temperatur på 34 °C. Dette avløpsvannet føres direkte inn i en rørsøyfe rundt fundamentet, se skisse. Denne rørsøyfen vil supplere det øvrige gulvvarmeanlegget da varmetapet fra gulvet vil være størst nær ringmuren.

Gjennomsnittstemperaturen på gulvet over fyringssesongen i randsonen vil ligge på ca. 24.0 °C. Avløpsvannet kan derfor kjøles ned ca. $34 - 24 = 10$ °C.

Gjennomsnittlig varmeavgivelse fra avløpsvannet vil da være:

$$q_1 = V \cdot c \cdot \Delta t$$

V = vannmengden "grått avløpsvann" = 320 l/døgn = $3.7 \cdot 10^{-3}$ l/s

$$q_1 = 3.7 \cdot 10^{-3} \cdot 4.2 \cdot 10.0 = \underline{0.16 \text{ kW} \text{ eller } 160 \text{ W}}$$

Denne varmen skal fordeles over en ringmurslengde på ca 30 m. Nå vil imidlertid varmetapet fra fundamentet under bodene være redusert da lufttemperaturen her er betydelig høyere enn utelufttemperaturen.

Gjennomsnittlig varmeavgivelse fra avløpsvannet vil ligge i størrelsesorden 5.2 W/m.

Varmetapet fra ringmuren er i gjennomsnitt:

$$q_2 = \lambda / \delta \cdot A \cdot \Delta t$$

$\lambda = 0.03 \text{ W/mK}$ = varmeledningsevnen for ringmursisolasjonen (ekstrudert polystyren)

δ = Isolasjonstykkelsen (se skisse) = 200 mm

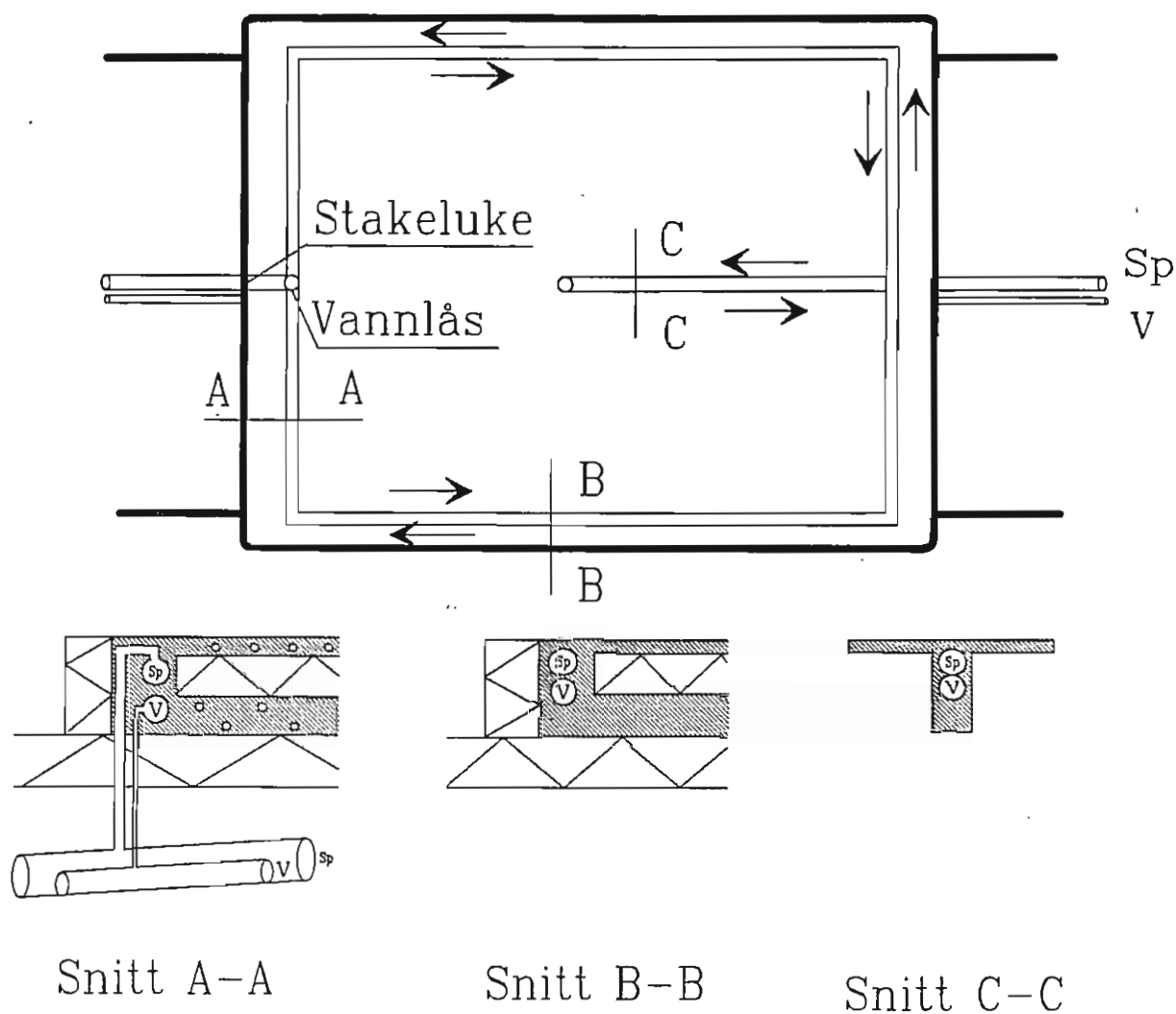
A = gjennomsnittlig høyde på ringmuren som er eksponert for utelufttemperaturen = 0.4 m

Δt = Temperaturgradienten som i middel settes lik 24.0 °C (Middel utelufttemperaturen over fyringssesongen ≈ 0 °C)

$$q_2 = 0.03/0.2 \cdot 0.4 \cdot 24 \approx \underline{1.5 \text{ W/m}}$$

Det kan med god tilnærming anntas at varmetapet fra fundamentet ned i grunnen ivaretas med bidrag fra solvarmeanlegget. Vi har allikevel regnet med et varmetap ned i grunnen og har i enegiberegningene brukt en U-verdi for fundamentet på 0.1 W/m²K.

Med overnevnete varmebalanse dimensjonerer vi røret rundt ringmuren slik at vannet får en oppholdstid på ca. et døgn, se skisse. Dette gir en rørdimensjon på 110 mmØ. For å kompensere for varmetapet fra



Prinsippskisse
Varmegjenvinning fra "grått"
spillvann

ringmuren kreves en effekt på ca. 45.0 W som resulterer i en avkjøling av avløpsvannet over døgnet på ca. 3.0 °C ned til en gjennomsnitt temperatur på ca. 31 °C. Dette betyr at vi har betydelige varmemengder tilgjengelig for forvarming av varmtvannet.

Som det fremgår av fundamentskissen er det en direkte ledende forbindelse mellom varmelageret under boligen og gulvplaten. Forvarmingen av varmtvannet foregår ved at dette slippes inn i et rør som ligger under avløpsrøret for grått spillvann. Da vanntemperaturen er relativt lav (7 °C) ved innløpet legges røret inn i varmelageret ved den glassoverdekte boden. Dette vil bare i liten grad øke varmetapet fra gulvflaten. (Det vil også under fyringssesongen bli tilført varme fra solfangeren til varmelageret). Røret legges så med fall slik at dette kommer nærmere spillvannsrøret for på slutten å ha direkte kontakt. Forvarmingsrøret dimensjoneres også for en oppholdstid for vannet på ca. ett døgn. Dette gir en rørdimensjon på 90 mmØ når vannmengden er 180 l/døgn.

Hvis vi regner konservativt kan vi annta at varmtvannet i gjennomsnitt vil kunne forvarmes til 24.0 °C som er middeltemperaturen for gulvplaten over fyringssesongen. Da forvarmingsrøret legges med fall vil vi kunne få en sjiktning som tilsier at vanntemperaturen kan bli betydelig høyere.

Det er vesentlig under fyringssesongen med liten tilgang på solvarme at forvarmingen av varmtvannet er energimessig interessant. Under sommerforhold med god tilgang på solvarme vil varmelageret kunne få temperaturer over 50 °C. Forvarmingsrøret med vann vil da forhindre overtemperaturer i gulvplaten. Under sommerforhold i perioder med overskuddsvarme fra solfangeren, kan det være hensiktsmessig å koble ut betonglageret.

Med en sluttemperatur på vannet på 24.0 °C vil vannet i middel bli forvarmet med 17.0 °C. Over året gir dette et energitilskudd på:

$$Q = V \cdot c \cdot \Delta t = 180 \cdot 360 \cdot 1.163 \cdot 10^{-3} \cdot 17.0 = \underline{1281.0 \text{ kWh/år}}$$

I tillegg kommer varmeavgivelsen til ringmuren på ca. 194 kWh.

Totalt gjenvinnes ca. 1475 kWh eller 42% av energien som er tilført varmtvannet.

Dette er meget konservativt regnet da vanntemperaturen er betydelig lavere under fyringssesongen og dermed er også energiforbruket til produksjon av varmtvann høyere. Hvis det regnes med en midlere vanntemperatur over fyringssesongen på 4.0 °C, vil energitilskuddet til forvarming av varmtvannet kunne økes med ca 20 % i denne perioden.

I beregningene vil solvarmen stå for ca. 60 % av varmtvanns-

produksjonen. Dette betyr at forvarmingen av varmtvannet gir en årlig energibesparelse på ca. 600 kWh.

Varmeavgivelsen fra varmtvannet til fundamentet inngår i U-verdien på $0.1 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Konklusjon

I energibalansen regner vi med en gevinst på forvarming av varmtvannet i energibudsjettet på 600 kWh/år.

Forvarmingssystemet vil også effektivt forhindre at overtemperaturer overføres fra varmelageret til gulvplaten, samtidig som varmetapet fra gulvplaten til ringmuren elimineres.

Under sommerforhold med overskuddsvarme fra solfangeren kan det være hensiktsmessig å koble ut betonglageret. Man kan da redusere tykkelsen på gulvisolasjonen uten at varmetapet i vinterhalvåret økes.

Drift og vedlikehold

Systemet for gjenvinning av varme fra spillvannsledningen for "grått" avløpsvann er vedlikeholdsfritt. Det er lagt opp til muligheter for å spyle spillvannsrøret ved å utstyre dette med et stake/spylepunkt (grenrør).

SOLVARMEANLEGG

I konkurranseprosjektet har vi brukt et solvarmeanlegg som finnes på markedet. Systembeskrivelse av solvarmeanlegget med solbereder er velagt i vedlegg 2. I vedlegg 3 finnes en simulering av solenergiutbyttet. Solfangerarealet for familieboligen på to plan er på 37 m^2 , mens småboligene uten takvinduer har et solfangerareal på 45 m^2 . I bilag 3 er det også vedlagt data som viser energiutbyttet som funksjon av størrelsen på energitaket.

ANSLAG OVER TILLEGGSKOSTNADER FOR ENERGIBESPARENDE TILTAK

De besparelsene som er innbyrdes avhengige er angitt som ensidige tiltak med utgangspunkt i en tilsvarende bolig uten spesielle energisparetiltak. Det er forutsatt brukt vannbåren gulvvarme og dermed 20 °C som referansetemperatur.

Varmelager og forvarmingssystem

Varmelager:	Kostnad kr
10 m ³ betong - 24 m ³ pukk = kr 8.000 - 6.000 =	2.000

	Tykkelse mm	Bredde m	Lengde m	Volum m ³	Enhetspris kr	
Ringmurisolasjon						
- vertikalt XPS	150	0.4	32	1.9	870	1.600
- under "	100	1.2	31	3.7	1.050	3.900
- utenfor "	50	0.6	20	0.6	870	500
Gulvisolasjon EPS	100	7.5	7.5	5.6	540	3.000
Rørslynger	PP-rør 20 mm Ø		200		10	2.000
Varmeveksler:						
PVC-rør 110 mm Ø			30		85	2.550
PP -rør 90 mm Ø			30		85	2.550
SUM					kr 18.100	

Tilleggs kostnader for varmelager og forvarmer ca. kr 18.000,-

Energibesparelsen omfatter:

- Redusert varmetap fra gulv
- " " fra ringmur
- Varmelager for solfanger (større energiutbytte)
- Forvarming av varmtvann

Samlet energibesparelse ligger årlig på 3.000 - 4.000 kWh

Varmelager og forvarmer er vedlikeholdsfrie.

Varmeveksler

Forutsetter brukt en motstrøms platevarmeveksler som finnes på markedet. Den aktuelle varmegjenvinneren har en temperaturvirkningsgrad nær 90 %.

Tilleggs kostnad for varmeveksler ca. kr 6.000,-

Det er regnet med en virkningsgrad på 80 %.

Total årlig energibesparelse ligger på 5.000 kWh.

Vedlikehold:

Filterskifte to ganger pr. år kr 120,-

Vinduer

Forutsetter brukt vinduer med U-verdi 1.0 W/m²K og solfaktor 0.4 av typen Pilkington Kapp Energi Klar.

Tilleggs kostnad inkl. mva. kr 1.250 - 660 = kr 590,- pr. m² eller totalt:

14.7 · 590 ≈ kr 9.000,-

Total årlig energibesparelse ligger i størrelsesorden 1.800 kWh.

Solvarmeanlegg

Energitaket leveres i ferdige moduler og erstatter vanlig taktekking. Prisen pr. m² inkl. mva. ligger på kr 516 kr/m². Det regnes derfor med en tilleggs kostnad for selve energitaket på 100 kr/m².

Tilleggs kostnader inkl. mva.

Solfanger 37 · 100 =	kr 3.700,-
Vanntransport: Fordelingskanal og samlekanal. pr. 1m	kr 190,-
Endestykker, flenser, uttapping:	1.320,-
Tilførsel og nedløpsrør, pr. 1m.	110,-
Pumpe (standard løftehøyde 15 m, 1 l/s)	3.600,-
Tilleggs kostnad 500 l magasintank ca.	4.000,-
<u>SUM</u>	<u>12.920,-</u>

Tilleggs kostnad for solvarmeanlegg inkl. mva. ≈ kr 13.000,-

Total årlig energibesparelse vil for en vanlig isolert bolig på 112 m² ligge på ca. 4.000 kWh.

For lavenergiboligen ca. 3.200 kWh inkl. varmetilførselen til fundamentet (solfangerareal 37 m²).

Solvarmeanlegget krever ikke spesielt vedlikehold.

Vegg og takelementer

Prefabrikkerte vegg- og takelementer med 250 mm tykk polyuretan-isolasjon har en U-verdi på 0.12 W/m²K. Med dagens teknologi vil tilleggskostnadene for denne konstruksjonen bli relativt høy. Dette skyldes lite effektivt produksjonsapparat og det forhold at polyuretanisolasjonen er relativt kostbar. For å sikre ensartet kvalitet på skummet vil romvekten med dagens utførelse ligge på hele 42 kg/m³. Fordelene med vegg- og takelementet i tillegg til meget lav U-verdi er enkel montering, samtidig som veggen har en tilnærmet "normal" tykkelse og en meget god kuldebrosikring.

Tilleggskostnader (materiaslkostnader) for vegg- og takelementet med polyuretanisolasjon utgjør i forhold til en vanlig konstruksjon, vegg- og takkonstruksjon med isolasjonstykkelse på henholdsvis 150 og 200, ca. kr 450 pr. m² eller totalt:

$157 \cdot 300 \approx \underline{\text{kr } 70.000,-}$ (økonomisk uinteressant med dagens teknologi)!

Total årlig energibesparelse (ensidig tiltak) ligger i størrelsesorden 3.300 kWh.

Hvis polyuretanisolasjonen erstattes med vanlig mineralull vil vegg- og takelementet ha en U-verdi på 0.15 W/m²K.

Tilleggskostnadene vil da ligge i størrelsesorden kr 100 pr. m² for veggene og kr 20 pr. m² for taket i forhold til en vanlig konstruksjon eller totalt:

$100 \cdot 83.5 + 20 \cdot 20 \approx \underline{\text{kr } 10.000,-}$

Total årlig energibesparelse for tak og vegger vil da ligge på ca. 2.600 kWh.

Oppsummering

	Tilleggs kostnader kr
Forvarming av varmtvann	5.000,-
Gulv	6.000,-
Vinduer	9.000,-
Vegg og takelement	10.000,-
Varmieveksler	6.000,-
Solfanger, pumper, bereder, mm.	13.000,-
<u>Varmelager</u>	<u>7.000,-</u>
<u>SUM</u>	<u>56.000,-</u>

Med utgangspunkt i et energibehov på 21.000 kWh (20 °C) for en tilsvarende bolig, uten spesielle energisparetiltak, isolert etter byggeforskriftenes krav til U-verdier fås:

Samlet energibesparelse: $21.000 - 5.910 = 15.090$ kWh/år eller

 " " : 135 kWh/m²

Herav utgjør solvarme og forvarming av varmtvann 34 kWh/m², varmegjenvinning fra ventilasjonsluft 45 kWh/m², bedre vinduer 16 kWh/m² og mer isolasjon i gulv, vegger og tak 40 kWh/m².

Tilleggs kostnadene for å oppnå denne besparelsen er kr 56.000,- eller: kr 500,- pr. m².

VARMEANLEGG**SE BYGGDETALJER A 552.111****Beskrivelse****VANNBÅRET GOLVVARME**

I hovedetasjen brukes et 50 mm tykt betonggulv med gulvvarme. Man oppnår dermed en god varmeoverføring og varmefordeling (lavest mulige vanntemperaturer). På grunn av hurtig skiftende varmebehov (soneinndeling) bør betongplaten ha en maksimal tykkelse på 50 mm. Tidsforsinkelsen mellom påtrykt og avgitt effekt vil da ligge i størrelsesorden en time som er en akseptabel treghet når det brukes nattsenkning. Bruk av betonggulv i form av plate på grunn løsning vil også kunne redusere overtemperaturene under sommerforhold. For å forhindre for stor temperaturledningsevne på gulvoverflaten forutsettes det brukt parkett i alle rom bortsett fra bad og installasjonsrom. På grunn av varmemagasinet under gulvet er det lagt en dampsperre under betongplaten på 50 mm. Bruk av et åpent gulvbelegg vil kunne sikre at det ikke oppstår fuktskader.

Dimensjonerende effektbehov for ny boligtype ligger på ca. 3.2 kW. Hvis gulvvarmeanlegget i hovedetasjen i prinsippet skal forsyne hele boligen med varme må gulvet avgi ca. 53 W/m². Det er da regnet med en effektiv heteflate på 60 m². Denne varmeavgivelsen oppnås ved en overflatetemperatur på gulvet på 26 °C. Dette er en akseptabel overflatetemperatur som ikke krever høyere vanntemperaturer enn maks. 30°C. Rent teoretisk kan gulvvarmeanlegget i hovedetasjen forsyne hele boligen med varme. Dette forutsetter en relativt åpen planløsning.

Av komfort hensyn legges det inn gulvvarme i badet i 2. etasje. Bjelkelaget dimensjoneres for bruk av 50 mm påstøp i baderommet. Varmeakkumulator og bereder plasseres mellom etasjene over vaskemaskinen i 1. etasje. Tanken settes på søyler som føres ned til betongplaten i 1. etasje. Vi oppnår dermed minimale pumpekostnader samtidig som varmeavgivelsen fra tanken tilføres begge etasjer. Installasjonsrommet i 2. etasje med bl.a. varmeveksler for ventilasjonsluft utstyres med tett gulvbelegg og sluk.

Baderommene i begge etasjer har en gunstig varmeteknisk beliggenhet sentralt i boligen uten yttervegger og vinduer. På grunn av redusert varmetap, oppnår vi som ønsket noe høyere gulv- og lufttemperaturer i disse rommene. Spesielt i 2. etasje ønsker vi å utnytte varmeavgivelsen fra installasjonene og overtemperaturen i baderommet som bidrag til grunnvarme i de tilstøtende rom. Veggene i baderom og installasjonsrom bør derfor bare ha lydisolering med begrenset varmeisolasjon. Derimot ønsker vi noe varmeisolasjon i veggene mellom de øvrige rom for å oppnå en moderat soneinndeling. Bjelkelaget mellom etasjene lydisoleres med minimal bruk av varmeisolasjon.

Gang og trapperommet varmes opp fra gulvvarmeanlegget i hovedetasjen. For ytterligere å øke fleksibiliteten for varmeanlegget, vil det bli montert elektriske varmeovner i sove- og arbeidsrommet i 2. etasje. Disse ovnene er bare forutsatt brukt hvis man ønsker en hurtig forseringseffekt.

Det er også presentert løsninger der den valgte boligform er delt opp i to separate leiligheter. I dette tilfellet brukes felles varmeakkumulator og bereder for begge leilighetene. Da leilighetene er varmeteknisk adskilt, må det legges gulvvarme i hele gulvflaten i begge etasjer. I baderommet der det er forutsatt å bruk en tradisjonell konstruksjon med 50 mm påstøp på et trebjelkelag. Forøvrig vil det anlegges gulvvarme uten å bruke påstøp, men med bruk av Al-profiler for en effektiv varmfordeling.

Pipeplassering, vedovn/peis

Skorsteinen er plassert sentralt i boligen i tilknytning til rummet med tekniske installasjoner og akkumulatortanker for varmtvann. Det finnes på markedet vedovner med tappevannsvarmevekslere som direkte kan kobles til vanntanken med en rørforbindelse. Vedovnen kan sørge for produksjon av varmtvann i perioder med der solvarmen ikke er tilgjengelig. De ovnene med tappevannspiraler som finnes på markedet i dag, har en relativt stor ytelse og en design som ikke direkte er beregnet på plassering i stua. Her ligger muligheter for en produktutvikling. (På grunn av allergiproblemer kan vedfyring bli forbudt i tettsteder).

VENTILASJONSANLEGG

Beskrivelse

Ventilasjonsanlegget er basert på en grunnventilasjon med 150 m³/h friskluft, som tilsvarer 0.5 luftvekslinger pr. time og består av varmeveksler av typen motstrøms plateveksler med innebygget vifter og filter. Luftmengden kan reguleres fra 100 - 300 m³/h. Den aktuelle varmegjenvinneren som finnes på markedet har en temperatur-virkningsgrad nær 90 % (vi har brukt 80 % i energiberegningene). Ved lave temperaturer og fare for ising på veksleren, sørger elektronikk for at eventuell isbelegg på veksleren tines av. Kanalene utføres i spirorør og friskluften hentes fra inntak på vegg, mens avkastluft føres over tak. Kanalføringen innomhus ligger i tak våtrom og tilføres de enkelte rom i form av bakkantinnblåsing.

Forsert avtrekk fra kjøkkenventilator føres utenom varmeveksler og direkte til avkastkanal tak. Avtrekket for resten av huset gjøres via våtrom/bad.

Varmeveksleren er plassert i et eget installasjonsrom med tett gulvbelegg og sluk.

En effektiv utlufting oppnås ved å åpne takvinduene mot syd. Disse er også utstyrt med en effektiv solavskjerming som evt. kan kombineres med isolasjonsskodder. Det er ikke regnet med dette i energiberegningene. Man kan da bruke vinduer med høyere solfaktor for bedre å utnytte passiv solvarme.

Det er forutsatt benyttet "sunne" materialer i boligene!

BYGNINGSVOLUM, AREALER, U-VERDIER
OG BEREGNINGSUTSKRIFTER

	AREAL m ²	U-VERDI w/m ² °C

HOVEDHUS		
AREALER MOT FRI		
TAK	73,4	0,15
VEGG, SYD	14,5	0,15
VEGG, VEST	17,7	0,15
VEGG, NORD	34,1	0,15
VEGG, ØST	17,2	0,15
GULV	64,0	0,10
VINDU, TAK	5,0	1,00
VINDU, SYD	5,5	1,00
VINDU, NORD	1,8	1,00
VINDU, ØST	0,5	1,00
VOLUM	293 M3	
VINDFANG MOT FRI		
TAK	16,5	2,10
GULV	22,0	0,30
VINDU, TAK	11,4	2,10
VINDU, SYD	4,5	2,10
VINDU/DØR, VEST	2,0	2,10
VINDU, NORD	7,5	2,10
VINDU, ØST	2,0	2,10
VOLUM	57 M3	
VINDFANG MOT HUS		
VEGG, VEST	12,5	0,15
VEGG, ØST	19,8	0,15
VINDU, VEST	5,5	2,10
DØR, ØST	2,0	1,00

```

-----
      FFFF  RRRR  EEEE  SSS
      F    R  R  E    S
      FFFF  RRRR  EEEE  SSS
      F    R  R  E    S
      F    R  R  EEEE  SSS

```

Fleksibel Romklima- og EnergiSimulator

```

-----
Prosjektkode   : NBS -Energi: NORDISK IDEKONKURRANSE OM LAVENERGIBYGGERI
Versjon        : FRES 1.2
Dato og tid    : 5-MAR-1991 15:11:00
Lisensinnehaver :

```

```

#SIMULERINGSDATA  1.JANUAR - 31. DESEMBER  INNETEMP. 20 °C KLIMAFIL OSLO64
                  INTERNLASTFORDELING OVER ÅRET AV LYS OG PERSONER ETTER NS3031
                  NATTSENKING

```

```

-----
Initiell temperatur      : 21 C
Maks antall innledende døgn : 3
Maks temp.diff. innledende døgn: 0.01 C
Breddegrad              : 60
Lengdegrad              : 11
Tidsmeridian            : 15
Atmosfæreklarhet        : 1
Markrefl. vinter, uke 16-45 : 0.15
Markrefl. sommer, uke 46-15 : 0.7
Arssimulering, klimafil : OSLO64.MET

```

#HORISONTUTSKRIFT

Horisonten er skrevet ut med 15 graders intervall og høyde i hele grader.
Maks horisonthøyde er 90 grader. Bare horisonthøyder over 0 grader
blir skrevet ut. Retningene er definert ved Nord=0, øst=90, syd=180
og vest=270 grader.

```

0   30   60   90  120  150  180  210  240  270  300  330  360
+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+

```

```

+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+---+
0   30   60   90  120  150  180  210  240  270  300  330  360

```

#GRUNNELEMENTER: VEGGER, VINDUER OG ROM

Type	Ident	Beskrivelse
Vegg	V1	VEGGER OG TAK
Vegg	G1	GULV
Vegg	T3	TAK UGJENNOMSIKTIG ROM 3
Vegg	G3	GULV ROM 3
Vegg	V4	VEGG ROM 1 - ROM 3
Vegg	V5	DØR ROM 1 - ROM 3
Vindu	W1	VINDUER U=1
Vindu	W2	VINDU TAK
Vindu	W4	GLASSVINDUER VEGGER OG TAK ROM 3
Vindu	W5	VINDU ROM 1 - ROM 3
En-sonerom	ROM1	HUS
En-sonerom	ROM3	VINDFANG
Dummyrom	UTE	UTE

#DATA FOR VEGGER OG VINDUER

Resulterende verdier er beregnet i henhold til NS 3031

U-verdi er regnet med utvendige varmeovergangstall som for yttervegg.

	Areal m2	U-verdi W/m2*C	Tapsfaktor W/C	Varmekap J/m2*C
V1	156.0	0.15	23.4	9828
G1	64.0	0.10	6.4	331200
T3	16.5	0.28	4.7	9828
G3	22.2	0.28	6.3	331200
V4	22.9	0.15	3.5	8928
V5	2.1	1.10	2.3	0
W1	7.9	1.00	7.9	0
W2	5.0	1.00	5.0	0
W4	25.4	2.10	53.3	0
W5	5.1	2.10	10.7	0

#ROMDATA

Ident	: ROM1					
Type	: En-sonerom					
Volum	: 293 m3					
Gulvareal	: 64 m2					
Sum innvendige flater	: 263 m2					
"Absorbsjon", vegger	: 0.7 (0-1)					
Tilbaketransmisjon, vinduer	: 0.6 (0-1)					
Result. tilbaketransmisjon	: 1.23 %					
Antall innvendige flater	: 7					
->	Ident	Mot rom	Opt.eg.	Orient.	Konv. W/m2*C	Sol (0-1)
1	V1	UTE	Opak	Vegg	3.2	0.624
2	G1	UTE	Opak	Gulv	3.2	0.256
3	V4	ROM3	Opak	Vegg	3.2	0.092
4	V5	ROM3	Opak	Vegg	3.2	0.008
5	W1	UTE	Transp.	Vegg	3.2	0.004
6	W2	UTE	Transp.	Udef	3.2	0.002
7	W5	ROM3	Transp.	Vegg	3.2	0.002

Ident	: ROM3					
Type	: En-sonerom					
Volum	: 57 m3					
Gulvareal	: 22.2 m2					
Sum innvendige flater	: 94.2 m2					
"Absorbsjon", vegger	: 0.7 (0-1)					
Tilbaketransmisjon, vinduer	: 0.6 (0-1)					
Result. tilbaketransmisjon	: 5.83 %					
Antall innvendige flater	: 6					
->	Ident	Mot rom	Opt.eg.	Orient.	Konv. W/m2*C	Sol (0-1)
1	T3	UTE	Opak	Tak	3.2	0.234
2	G3	UTE	Opak	Gulv	3.2	0.315
3	V4	ROM1	Opak	Vegg	3.2	0.325
4	V5	ROM1	Opak	Vegg	3.2	0.030
5	W4	UTE	Transp.	Vegg	3.2	0.032
6	W5	ROM1	Transp.	Vegg	3.2	0.006

Ident	: UTE					
Type	: UTE					
Sum innvendige flater	: 297 m2					
Antall innvendige flater	: 7					
->	Ident	Mot rom	Opt.eg.	Orient.	Konv. W/m2*C	
1	V1	ROM1	Opak	Vegg	20.5	
2	G1	ROM1	Opak	Gulv	20.5	
3	T3	ROM3	Opak	Tak	20.5	
4	G3	ROM3	Opak	Gulv	20.5	
5	W1	ROM1	Transp.	Vegg	20.5	
6	W2	ROM1	Transp.	Udef	20.5	
7	W4	ROM3	Transp.	Vegg	20.5	

#VINDUER

Et vindu består av en eller flere fasader med gitte data. Data for hver fasade er tabellert i to tabeller. Utvendig avskjerming er gitt av disse verdiene:

```

ALYS : Bredde*høyde for vinduet
RE : Fasadens retning (NORD:0,ØST:90,SYD:180,VEST:270)
HE : Fasadens helning (0:horisontalt,90:vertikalt)
ABS : Andel av innfallende sol som absorberes i ekv. innerflate
TR : Andel av innfallende sol som transmitteres
SKFK : Konstant avskjermingsfaktor
SKFV : Avskjermingsfaktor som inntrer når direkte sol
      treffer fasaden og skydekkefaktor <= SKGR
SKGR : Høyeste skydekkefaktor der variabel avskjerming inntrer
B, H : Bredde og høyde for vinduets grunnmodul (uavhengig av ALYS)
U01 : Avstand fra overkant til utspring
U02 : Utspringets dybde over vinduet
UV1 : Avstand fra venstre kant til utspring
UV2 : Utspringets dybde venstre kant
UH1 : Avstand fra høyre kant til utspring
UH2 : Utspringets dybde høyre kant
LOKHZ : Minimum solhøyde med direkte stråling (lokal horisont)

```

Identifikator : W4
 Beskrivelse : GLASSVINDUER VEGGER OG TAK ROM 3
 Areal inkl. sprosser : 25.4 m2
 Andel lysåpning : 86.3 %
 Totalt antall fasader : 5

->	ALYS	RETN	HELN	ABS	TR	SKFK	SKFV	SKGR
->	m2	Grader	Grader	(0-1)	(0-1)	(0-1)	(0-1)	(0-10)
1	6.0	0.0	90.0	0.110	0.670	1.000	1.000	4.0
2	3.6	180.0	90.0	0.110	0.670	1.000	1.000	4.0
3	9.1	180.0	45.0	0.110	0.670	1.000	1.000	4.0
4	1.6	270.0	90.0	0.110	0.670	1.000	1.000	4.0
5	1.6	90.0	90.0	0.110	0.670	1.000	1.000	4.0

->	B	H	UO1	UO2	UV1	UV2	UH1	UH2	LOKHZ
->	m	m	m	m	m	m	m	m	Grader
1	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Identifikator : W5
 Beskrivelse : VINDU ROM 1 - ROM 3
 Areal inkl. sprosser : 5.1 m2
 Andel lysåpning : 78.4 %
 Totalt antall fasader : 1

->	ALYS	RETN	HELN	ABS	TR	SKFK	SKFV	SKGR
->	m2	Grader	Grader	(0-1)	(0-1)	(0-1)	(0-1)	(0-10)
1	4.0	90.0	90.0	0.104	0.670	1.000	1.000	4.0

->	B	H	UO1	UO2	UV1	UV2	UH1	UH2	LOKHZ
->	m	m	m	m	m	m	m	m	Grader
1	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

#NODEBETEGNELSER

I utskriften nedenfor forekommer henvisninger til noder. Noder er steder i bygget eller sentralagget der temperaturen blir beregnet. Nodenavn er bygd opp etter følgende syntaks der tekst i <> er navnet på veggen/rommet/modulen

VEGGER

<veggid>.S1 : Første overflate i veggen
 <veggid>.M1 : Første masse i veggen (hvis 1 eller fler)
 <veggid>.M2 : Andre masse i veggen (hvis 2 eller fler)
 ...
 <veggid>.S2 : Siste overflate i veggen

ROM

<romid>.1 : Nedre sone
 <romid>.2 : Øvre sone hvis tosonerom

DUMMYROM

<romid> : Det aktuelle dummyrommet

SENTRALE MODULER

<modulid>.U : Utgående strøm (tilluft eller avtrekk) hvis en strøm
 <modulid>.U1 : Utgående tilluftsstrøm hvis to strømmer
 <modulid>.U2 : Utgående avtrekksstrøm hvis to strømmer

PREDEFINERTE NODENAVN

AVTREKK : Felles avtrekkskanal
 TILLUFT : Felles tilluftskanal

VEGGNODER OG VINDUSNODER

V1.S1, V1.M1, V1.M2, V1.S2
 G1.S1, G1.M1, G1.M2, G1.S2
 T3.S1, T3.M1, T3.M2, T3.S2
 G3.S1, G3.M1, G3.M2, G3.S2
 V4.S1, V4.M1, V4.M2, V4.S2
 V5.S1, V5.M1, V5.M2, V5.S2
 W1.S1, W1.S2
 W2.S1, W2.S2
 W4.S1, W4.S2
 W5.S1, W5.S2

```

ROMNODER
  ROM1.1
  ROM3.1
DUMMYROM OG AGGREGAT
  AVTREKK
  UTE
  TILLUFT
  ROTV_A.U1
  VIFT_G.U
  VARM_H.U
  VIFT_B.U
  ROTV_A.U2

```

#LOKAL VARME OG KJØLING

```

Ident      : ROM1_PERS
Type       : Personer
Maks effekt : 817 W
Fordelt på antall noder : 8

```

```

-> Node Andel (%)
1 V1.S1 29.661
2 G1.S1 12.169
3 V4.S2 4.354
4 V5.S2 0.399
5 W1.S1 1.496
6 W2.S1 0.951
7 W5.S2 0.970
8 ROM1.1 50.000

```

```
Styring : DIFF
```

```

-> Uke Døgn Time Effekt (W)
1 18-35 Man-søn 0-24 235
2 9-44 Man-søn 0-24 277
3 1-53 Man-søn 0-24 305

```

```

Ident      : ROM1_MASK
Type       : Lys/maskiner
Maks effekt : 120 W
Fordelt på antall noder : 8

```

```

-> Node Andel (%)
1 V1.S1 29.661
2 G1.S1 12.169
3 V4.S2 4.354
4 V5.S2 0.399
5 W1.S1 1.496
6 W2.S1 0.951
7 W5.S2 0.970
8 ROM1.1 50.000

```

```
Styring : ALLTID
```

```

-> Uke Døgn Time Effekt (W)
1 1-53 Man-søn 0-24 120

```

```

Ident      : ROM1_LYS
Type       : Lys/maskiner
Maks effekt : 63 W
Fordelt på antall noder : 8

```

```

-> Node Andel (%)
1 V1.S1 29.661
2 G1.S1 12.169
3 V4.S2 4.354
4 V5.S2 0.399
5 W1.S1 1.496
6 W2.S1 0.951
7 W5.S2 0.970
8 ROM1.1 50.000

```

```
Styring : DIFF
```

```

-> Uke Døgn Time Effekt (W)
1 18-35 Man-søn 0-24 13
2 9-44 Man-søn 0-24 21
3 1-53 Man-søn 0-24 29

```

Ident : ROM1_KJØL
 Type : Kjøling
 Maks effekt : -6000 W
 Fordelt på antall noder : 8

->	Node	Andel (%)
1	V1.S1	29.661
2	G1.S1	12.169
3	V4.S2	4.354
4	V5.S2	0.399
5	W1.S1	1.496
6	W2.S1	0.951
7	W5.S2	0.970
8	ROM1.1	50.000

Regulerer på : ROM1.1

Styring : NATTS

->	Uke	Døgn	Time	Temperatur (C)
1	1-53	Man-søn	6-22	26
2	1-53	Man-søn	0-24	26

Ident : ROM1_VARM
 Type : Varme
 Maks effekt : 4000 W
 Fordelt på antall noder : 8

->	Node	Andel (%)
1	V1.S1	29.661
2	G1.S1	12.169
3	V4.S2	4.354
4	V5.S2	0.399
5	W1.S1	1.496
6	W2.S1	0.951
7	W5.S2	0.970
8	ROM1.1	50.000

Regulerer på : ROM1.1

Styring : NATTS

->	Uke	Døgn	Time	Temperatur (C)
1	1-53	Man-søn	6-22	20
2	1-53	Man-søn	0-24	18

Ident : ROM3_KJØL
 Type : Kjøling
 Maks effekt : -7000 W
 Fordelt på antall noder : 7

->	Node	Andel (%)
1	T3.S1	8.758
2	G3.S1	11.783
3	V4.S1	12.155
4	V5.S1	1.115
5	W4.S1	13.482
6	W5.S1	2.707
7	ROM3.1	50.000

Regulerer på : ROM3.1

Styring : ALLTID

->	Uke	Døgn	Time	Temperatur (C)
1	1-53	Man-søn	0-24	28

#SENTRALAGGREGATET

Ident : ROTV_A
 Type : Roterende varmeveksler
 Maks temp. virkningsgrad: 0.8 (0-1)
 Fuktvirkningsgrad : 0 (0-1)
 Regulerer på : TILLUFT
 Styring : NATTS

->	Uke	Døgn	Time	Temperatur (C)
1	1-53	Man-søn	6-22	18
2	1-53	Man-søn	0-24	17

Ident : VIFT_G
 Type : Vifte
 Temp. økning : 1 C
 Andel motoreff. til luft: 1 (0-1)
 Regulering : Maks effekt hele tiden

```

Ident          : VARM_H
Type           : Varmebatteri
Maks effekt    : 6000 W
Regulerer på   : TILLUFT
Styring        : NATTS
-> Uke   Døgn   Time   Temperatur (C)
   1 1-53 Man-søn 6-22      18
   2 1-53 Man-søn 0-24      17

```

```

-----
Ident          : VIFT_B
Type           : Vifte
Temp. økning   : 1 C
Andel motoreff. til luft: 1 (0-1)
Regulering     : Maks effekt hele tiden
-----

```

#LUFTBALANSER

```

-----
Ident          : LUF1VENT
Type           : Ventilasjon
Ant. enkeltstrømmer : 1
Vol (m3/h) Sti
   150 TILLUFT->ROM1.1->AVTREKK
Styring        : ALLTID
-> Uke   Døgn   Time Andel av fullt (0-1)
   1 1-53 Man-søn 0-24      1

```

```

-----
Ident          : ROM1_INF
Type           : Infiltrasjon
Ant. enkeltstrømmer : 1
Vol (m3/h) Sti
   29 UTE->ROM1.1->UTE
Regulering     : Maks volumstrøm hele tiden
-----

```

```

-----
Ident          : ROM3_INF
Type           : Infiltrasjon
Ant. enkeltstrømmer : 1
Vol (m3/h) Sti
   17 UTE->ROM3.1->UTE
Regulering     : Maks volumstrøm hele tiden
-----

```

#EFFEKT- OG ENERGI - BUDSJETT

Budsjettpost	Maks effekt W	Energi kWh	Driftstid Timer
1. Varme			
1.Sentralt	210	153.9	2915
2.Lokalt ROM1	2605	2691.9	3300
3.Lokalt ROM3	0	0.0	0
Samtidighet	2772	2845.8	3797
2. Kjølning			
1.Sentralt	0	0.0	0
2.Lokalt ROM1	-3583	-1156.2	1019
3.Lokalt ROM3	-7000	-7738.9	2435
Samtidighet	-10583	-8895.1	2435
3. Vifter			
1.Tilluft	50	433.3	8760
2.Avtrekk	50	433.3	8760
Samtidighet	100	866.6	8760
4. Lys/maskiner			
1.Lokalt ROM1	149	1232.7	8760
2.Lokalt ROM3	0	0.0	0
Samtidighet	149	1232.7	8760
5. Personer			
1.Lokalt ROM1	305	2375.3	8760
2.Lokalt ROM3	0	0.0	0
Samtidighet	305	2375.3	8760
6. Sol			
1.Lokalt ROM1	4812	4323.5	4271
2.Lokalt ROM3	12174	16503.4	4271
Samtidighet	16720	20827.0	4271
7. Gjenvunnet			
1.Varmeveks./omluft	1493	4717.7	8097

#DØGNUTSKRIFT FOR SENTRALAGGREGAT

Kl	Ute Till. Avtr.			Varme	Kjøling	Gjenv.	Vif.til	Vif.avt
	C	C	C	W	W	W	W	W
1	-5.6	17.0	18.0	95	0	975	49	49
2	-5.6	17.0	18.0	95	0	975	49	49
3	-5.6	17.0	18.0	95	0	975	49	49
4	-5.6	17.0	18.0	95	0	975	49	49
5	-4.3	17.0	18.0	82	0	923	49	49
6	-2.9	17.0	18.0	68	0	870	49	49
7	-1.6	18.0	20.0	26	0	897	49	49
8	-1.4	18.0	20.0	24	0	890	49	49
9	-1.2	18.0	20.0	22	0	883	49	49
10	-1.0	18.0	20.0	20	0	876	49	49
11	-0.9	18.0	20.0	18	0	868	49	49
12	-0.7	18.0	20.0	17	0	861	49	49
13	-0.5	18.0	20.0	15	0	854	49	49
14	-0.1	18.0	20.0	10	0	836	49	49
15	0.4	18.0	20.0	6	0	819	49	49
16	0.3	18.0	20.0	7	0	823	49	49
17	0.2	18.0	20.0	8	0	828	49	49
18	0.0	18.0	20.0	10	0	833	49	49
19	-0.1	18.0	20.0	11	0	838	49	49
20	-0.7	18.0	20.0	17	0	862	49	49
21	-1.3	18.0	20.0	23	0	886	49	49
22	-1.9	18.0	20.0	29	0	910	49	49
23	-2.5	17.0	18.0	65	0	855	49	49
24	-3.2	17.0	18.0	71	0	879	49	49
Tot	-1.9	17.7	19.3	928	0	21194	1186	1186

#DØGNUTSKRIFT FOR ROM

Identifikator : ROM1

Kl	Sone1 Oper.		Lok.varm	Lok.kj	Sol	Pers Lys/mask	
	C	C	W	W	W	W	W
1	18.0	17.8	797	0	0	305	149
2	18.0	17.8	853	0	0	305	149
3	18.0	17.8	886	0	0	305	149
4	18.0	17.8	907	0	0	305	149
5	18.0	17.8	869	0	0	305	149
6	18.0	17.8	819	0	0	305	149
7	20.0	19.6	1880	0	0	305	149
8	20.0	19.6	1404	0	0	305	149
9	20.0	19.7	1288	0	0	305	149
10	20.0	19.7	1213	0	7	305	149
11	20.0	19.7	1136	0	39	305	149
12	20.0	19.7	1083	0	59	305	149
13	20.0	19.7	1056	0	58	305	149
14	20.0	19.7	1047	0	33	305	149
15	20.0	19.7	1048	0	0	305	149
16	20.0	19.7	1042	0	0	305	149
17	20.0	19.7	1039	0	0	305	149
18	20.0	19.7	1037	0	0	305	149
19	20.0	19.7	1036	0	0	305	149
20	20.0	19.7	1055	0	0	305	149
21	20.0	19.7	1078	0	0	305	149
22	20.0	19.7	1103	0	0	305	149
23	18.0	17.9	12	0	0	305	149
24	18.0	17.9	500	0	0	305	149
Tot	19.3	19.1	24190	0	197	7320	3576

#DØGNUTSKRIFT FOR ROM
 Identifikator : ROM3

Kl	Sone1 C	Oper. C	Lok.varm W	Lok.kj W	Sol W	Pers Lys/mask W	
1	-1.9	-1.9	0	0	0	0	0
2	-1.9	-1.9	0	0	0	0	0
3	-1.9	-1.9	0	0	0	0	0
4	-1.9	-1.9	0	0	0	0	0
5	-1.4	-1.3	0	0	0	0	0
6	-0.8	-0.7	0	0	0	0	0
7	0.0	0.1	0	0	0	0	0
8	0.4	0.4	0	0	0	0	0
9	0.6	0.7	0	0	0	0	0
10	1.0	1.0	0	0	34	0	0
11	1.6	1.6	0	0	155	0	0
12	2.1	2.2	0	0	211	0	0
13	2.4	2.4	0	0	195	0	0
14	2.4	2.5	0	0	111	0	0
15	2.3	2.3	0	0	1	0	0
16	2.3	2.3	0	0	0	0	0
17	2.2	2.3	0	0	0	0	0
18	2.2	2.2	0	0	0	0	0
19	2.2	2.2	0	0	0	0	0
20	2.0	2.0	0	0	0	0	0
21	1.8	1.8	0	0	0	0	0
22	1.5	1.5	0	0	0	0	0
23	1.1	1.1	0	0	0	0	0
24	0.8	0.8	0	0	0	0	0
Tot	0.8	0.8	0	0	707	0	0

ENERGITAK

SE BYGGDETALJER A 552.455

SYSTEMBESKRIVELSE AV SOLVARMEANLEGG OG SOLBEREDER

VANNBASERTE SOLFANGERE
FUNKSJON OG ENERGIUTBYTTE

GENERELT

Den gjennomsnittelige energistøm ned til jordoverflaten er omtrent 2000 kWh/m² i løpet av et år. I Norge er innstrålingen mellom 700 og 1100 kWh/m² år. Det betyr at et hus på årsbasis treffes av stråling som representerer 3 - 5 ganger mer energi enn forbruket i bygningen. Det er en stor utfordring å kunne utnytte mest mulig av solenergien og derved redusere avhengigheten av kull, olje og elektrisitet på grunn av de mye omtalte problemene ved denne energibruk.

Energi behovet dreier seg ikke bare om mengde, men også om kvalitet. Det er vesentlig enklere å skaffe energi til oppvarming, enn f.eks. til å drive motorer eller skape lys.

En vesentlig del av vårt energiforbruk, i en husholdning hele 60 - 70 %, er knyttet til oppvarming av bygninger og av vann til forbruk. Det er utviklet systemer nå som gjør det mulig å dekke vesentlige deler av dette forbruk ved hjelp av solenergi til konkurransedyktige priser. I praksis betyr dette å gi bygningens tak en oppgave som energileverandør i tillegg til den tradisjonelle takfunksjonen. Slike tak kalles energitak. Energitaket er et komplett taksystem som erstatter det tradisjonelle tak og til en sammenliknbar pris. Databladet omhandler energitak og beskriver prinsippene for hvordan energien kan utnyttes i vekselvirkning med det konvensjonelle energisystem.

1. PRINSIPPER FOR ENERGITAK

1.1 FRA STRÅLING TIL VARME

Stråling som treffer en overflate blir delvis absorbert, delvis reflektert. Normalt vil strålingsenergien ved absorpsjon omdannes til varme. Størrelsesforholdet mellom den absorberte og den reflekterte komponenten avhenger av fargen på overflaten. En svartmalt overflate absorberer gjerne 90 - 95 % av energien i strålingen, mens en lys farge reflekterer mesteparten av energien.

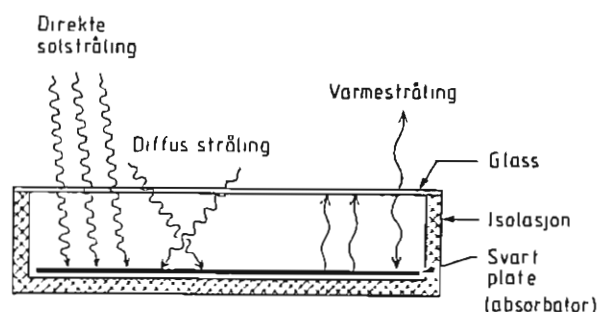


Fig. 1.

Når en svart plate utsettes for direkte sollys blir den etterhvert 30 - 40° varmere enn omgivelsene. Da er oppnådd en likevekt mellom energien flaten mottar per tidsenhet og energien som avgis til omgivelsene. Energitapet skyldes tre prosesser; - varmeledning, konveksjon og stråling. I dette tilfellet utgjør strålingen 60 - 70 % av energitapet. Utstrålingen har en annen spektralfordeling enn

sollyset, det er termisk eller infrarød stråling. En svart flate har gjerne like sterk tendens til termisk utstråling - emissivitet - som den har til å absorbere sollyset.

Skal temperaturen på overflaten bli tilstrekkelig høy til at varmen kan utnyttes, f.eks. til romoppvarming, er det nødvendig å redusere energitapet. Siden som vender fra solen kan isoleres. Framsiden kan dekkkes med et lag glass idet en utnytter den egenskap ved glasset at ca. 90 % av sollyset slipper gjennom (transparent), mens stråling i det infrarøde området stoppes i glasset. Dette kalles drivhuseffekten.

Termisk stråling absorberes av glasset slik at glasset får en temperatur midt imellom platens temperatur og omgivelsestemperaturen. Derved reduseres varmetapet til det halve i forhold til den udekkede platen. Ved å bruke to lag glass kan varmetapet reduseres ytterligere. En rekke plaststoffer, f.eks. polykarbonat, har tilsvarende absorpsjons- og transmisjonsegenskaper som glass.

En solfanger er basert på dette prinsipp, som vist på figur 1. For å kunne nyttegjøre varmen må denne transporteres fra solfangeren og til brukerstedet. Mest brukt som kjølemedium er vann og luft. Kjølemediet opptar varme fra den svarte platen (absorbatoren) og avgir denne til et varmelager plassert annet sted.

Solfangere finnes i ulike utforminger. De mest avanserte har vakuumisolering mellom absorbator og dekkglass. Dessuten er absorbatorens overflate behandlet slik at den har en liten emissivitet for infrarød stråling (såkalt varm selektiv overflate). Disse er aktuelle i situasjoner der varmen må leveres ved særlig høy temperatur, men de er ikke økonomisk konkurransedyktige med konvensjonell energi.

Solfangere med vann som kjølemedium kan skilles i to hovedgrupper; Åpne og lukkede. I en Åpen solfanger renner vannet ned på framsiden av absorbatoren på grunn av tyngden. De opererer uten overtrykk. Fordelene er først og fremst lav pris og enkel kontroll, dvs. vannet renner ut straks tilførselen stopper. En ulempe ved den Åpne løsning er fordampning og derav følgende kondensasjon på dekkglasset som reduserer strålegjennomgangen. Andre ulemper er stor pumpeeffekt fordi vannet må løftes opp til toppen av solfangeren, og korrosjonsproblemer ved tradisjonell materialbruk som følge av at vannet hele tiden får tilførsel av oksygen.

En lukket solfanger har et lukket system for kjølemediet, gjerne under et visst overtrykk. Dette gir mulighet for god varmeveksling mellom absorbatoren og vannet. Vannet blir etterhvert lite korrosivt, og lukkede solvarmesystemer kan vise til meget god holdbarhet. Ulempene er i første rekke prisen, dessuten må solfangeren enten tømmes for vann ved frostfare eller vannet må være tilsatt et frosthindrende middel.

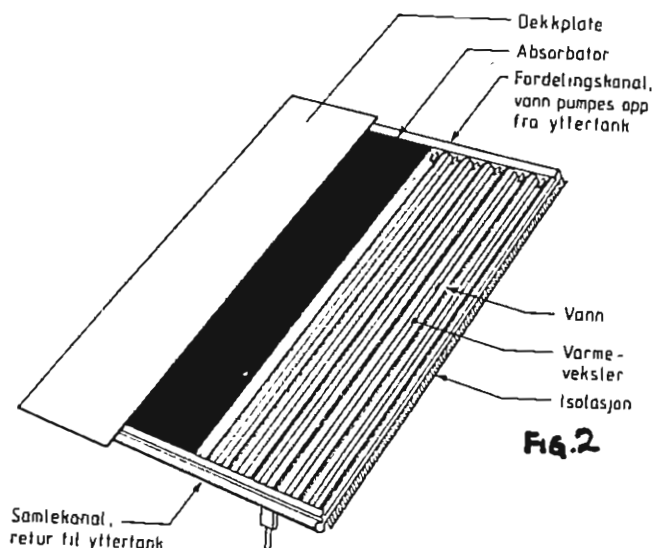


Fig. 2

1.2 ENERGITAKETS OPPBYGNING OG PLASSERING

Et energitak er et tak med solfangeregenskaper. Solfangeren er da utviklet til også å tilfredstille kravene til mekanisk styrke, tetning og termodynamiske forhold som gjeder for et tak.

Figur 2 viser et eksempel på en slik integrert løsning. Taket består av to heldekkende aluminiumsplatelag, og har en transparent dekkplate som ytterhud. Den ytterste aluminiumsplatene (absorbatoren) er plan, mens den under (varmeveksleren) er profilert slik at det dannes trapesformede kanaler. Baksiden er isolert og dekket med en vindtett duk.

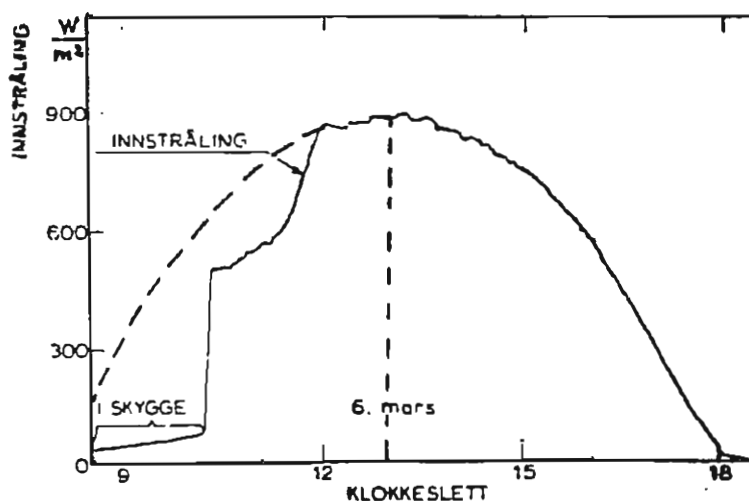
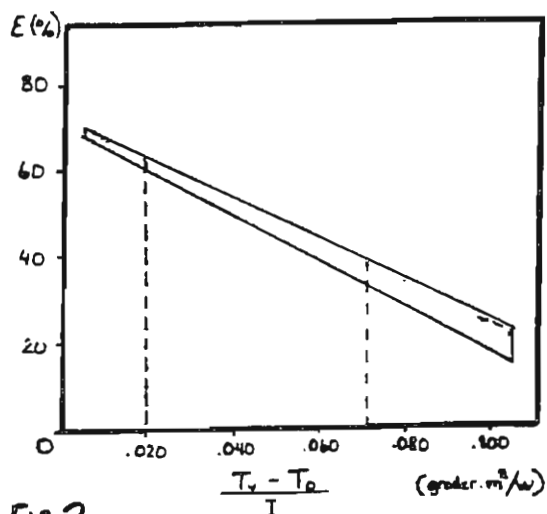
Energitaket har et semiåpent kjølesystem, dvs. vannet renner ned av taket, men i de trapesformede kanalene på undersiden av absorbatoren. Den store fordel ved energitaket sammenliknet med tradisjonelle solfangere er at det kan realiseres innefor kostnadene til et konvensjonelt tak.

Energitaket må ha en sydlig orientering, men avvik på 20° betyr lite for energiutbyttet. For å holde tett må taket ha en helning på minimum 10°. Et optimalt utbytte oppnås imidlertid ved vesentlig større helningsvinkler på grunn av den lave solhøyden i Norge. Det finnes ikke en optimal vinkel, denne bestemmes av størrelsen og tidsprofilen til behovet som en søker å dekke og vil variere fra prosjekt til prosjekt. Tabell 1 viser intensiteten i strålingen mot sydvendte tak med forskjellige helningsvinkler.

TABELL 1 Intensitet (W/m^2) i rettet stråling mot sydvendte flater med helningsvinkel på 30°, 45° og 60°.

DATO	KL.SLETT	30°	45°	60°
24/6	12.00	860	850	790
	09.00/15.00	670	670	620
	06.00/18.00	160	130	90
21/9	12.00	610	680	700
	09.00/15.00	350	390	410
22/12	12.00	130	170	200
21/3	12.00	600	680	700
	09.00/15.00	350	390	410

I tillegg til den rettede strålingen bidrar diffus stråling med mellom 50 og 150 W/m^2 .



1.3 EFFEKTIVITET OG ENERGIUTBYTTE

Taket har en potensiell leveringskapasitet på 40 - 50 % av den energi som stråler mot taket, på årsbasis utgjør dette fra 300 kWh til 500 kWh per m² takflate. Hvor stor del som kan nyttegjøres avhenger av varmebehovet og av varmesystemets tekniske utforming.

Energitaket egner seg spesielt til prosjekter med et betydelig og vedvarende behov for varme ved relativt lav temperatur. Taket kan levere varmt vann med temperatur opp imot 100°C, men effekten avtar med økende temperatur på vannet. Den totale virkningsgrad for et energitak med 3 cm tykk isolasjon på undersiden er vist på figur 3 som funksjon av forholdet mellom temperaturdifferensen vann - uteluft og intensiteten i den innfallende solstråling. Intensiteten varierer med vinkelen strålingen danner med taket. Ved maksimal innstråling, dvs. når sola står tilnærmet vinkelrett på taket, er strålingsintensiteten praktisk talt 1 kW/m². Den maksimale effekt taket kan levere ved en temperaturdifferens på 50° blir derved 0.55 kW/m² takflate.

Figur 4 viser et eksempel på strålingsintensiteten mot et sydvendt tak en enkel dag uten skydekke. Dagsutbyttet kan beregnes time for time ved å sette inn den aktuelle strålingsintensitet og temperatur og avlese virkningsgraden i figur 3. For å beregne det årlige energiutbytte fra taket utfra virkningsgradskurven, må en kjenne strålingsintensitets- og temperaturstatistikken for stedet og temperaturen i varmesystemet. Det finnes databaser med relevante strålings- og temperaturdata for flere områder i Norge, og på denne bakgrunn kan beregnes utbytteprognoser for et enkelt anlegg. Energitaket er særlig aktuelt i de mest solrike strøk av landet. Figur 5 viser årlig innstråling per m² horisontal flate i Norge.

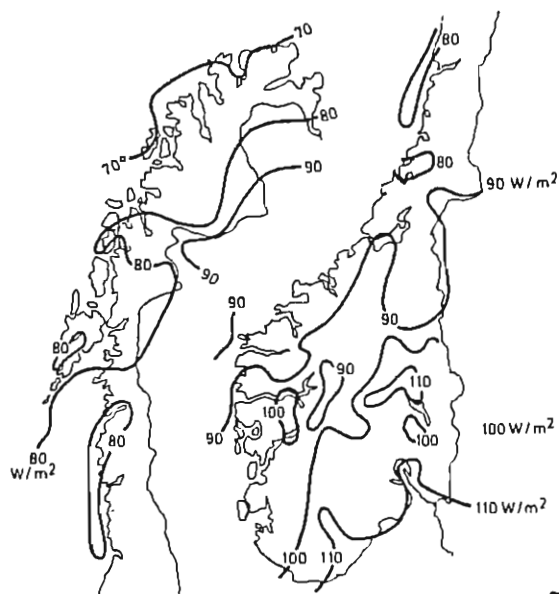


FIG.5

2 ANVENDELSE AV SOLVARMEN

2.1 OPPVARMING AV BRUKSVANN

Energitaket kan brukes til oppvarming av vann i boliger, næringsbygg, idrettsanlegg og svømmebad etc..

Typisk varmvannsforbruk i en norsk husholdning er fra 3000 kWh til 6000 kWh i året. Av dette kan 50 % til 70 % dekkes med solenergi ved hjelp av et system med kombinert sol- og elbereder som vist på figur 6. Det er en komplisert sammenheng mellom størrelsen på energitaket og utbyttet fra dette. Utbyttet per m² er stort, mer enn 300 kWh, så lenge solenergien kun dekker en liten del av forbruket, øker

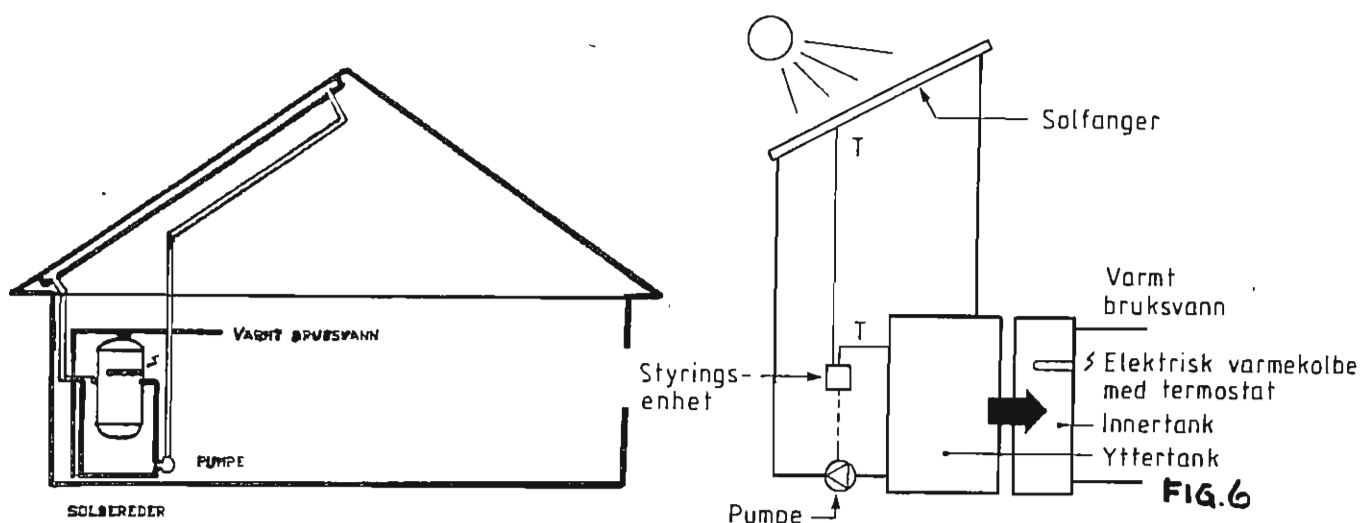


FIG.6

dekningsgraden vil utbyttet per m^2 avta. Dette skyldes årstidsvariasjonene i innstrålingen. En husholdning vil trenge minimum 15 m^2 energitak for å oppnå et akseptabelt forhold mellom investering og utbytte. Som regel lønner det seg å legge energitak på hele den sydvendte takflaten, og dette er gjerne vesentlig mer enn minimumsarealet. Figur 7 viser hvordan dekingen fra energitaket av varmtvannsbehovet fordeler seg over året. En utnytter solvarmen til å heve temperaturen så lang denne rekker, og ettervarmer med elektrisk energi til ønsket tappetemperatur (55°C). Funksjonen er innebygget i solberederen.

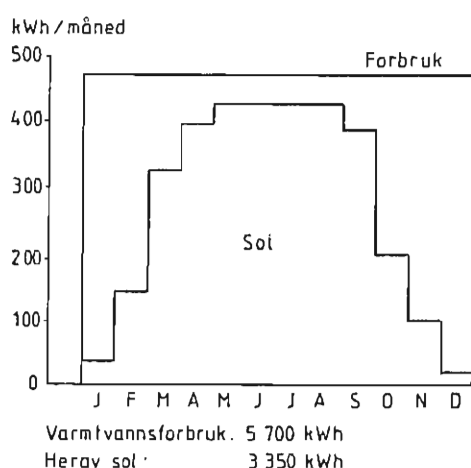


FIG.7

Et villaanlegg for soloppvarming av bruksvann innebærer merkostnader på 10.000 - 12.000 kr, og gir en reduksjon i elektrisitetsforbruket på 2.500 - 3.500 kWh/år. Med realrente på 7% og 15 års nedskrivning gir dette en årlig kostnad på 1.100 - 1.300 kr., eller en totalpris på varmtvannet på mellom 30 øre og 50 øre per kWh. Tilsvarende koster elektrisk oppvarmet vann minimum 57 øre per kWh (inkl. faste abonnementskostnader) når vi tar hensyn til berederens kostnad og levetid.

Samme forhold mellom utbytte og dekningsgrad gjelder for store anlegg som for villaanleggene. I store bygg vil ofte tilgjengelig sydvendt takareal være begrensningssfaktor.

2.2 ROMOPPVARMING

Skal energitaket brukes til romoppvarming bør varmesystemet operere ved lavest mulig driftstemperatur, det betyr store heteflater. Oppvarming basert på vannbåren gulvvarme har vist seg effektiv i kombinasjon med sol.

For å motvirke variasjonene i innstråling og værtype er det nødvendig å kunne lagre varmen. Varmekapasiteten bør svare til 2 - 3 døgns varmebehov. Det finnes forskjellige varmelagringsmåter; f.eks. i vanntanker og bassenger, eller i vegger og fundamenter av betong. Størrelsen på disse lagre vil for en bolig på 100 m^2 boligflate ligge på 3 til 4 m^3 vann eller 6 til 8 m^3 betong. Varmelagrene må isoleres fra boligarealet for å kunne styre varmeuttaket etter behov.

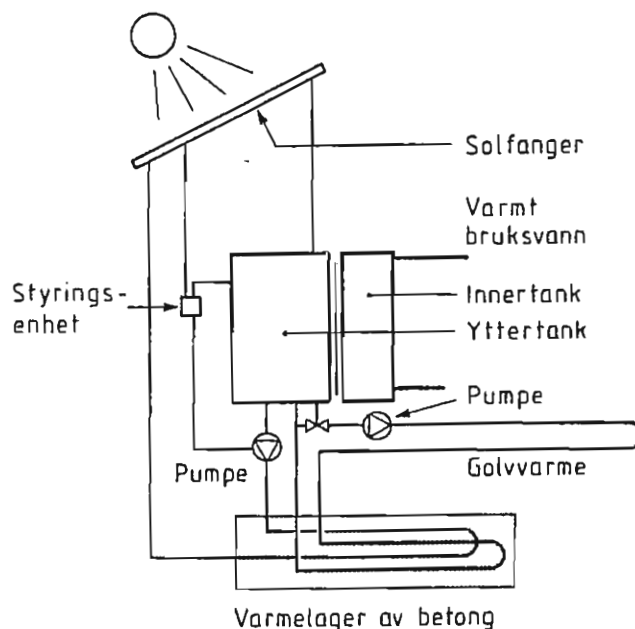


FIG. 8

Figur 8 viser et system med golvvarme og varmelager i betong under huset. Det er vanskelig å gi et prisoverslag for et slikt system da dette avhenger av de lokale forhold. Gjennomførte prosjekter viser at soltilskudd til boligoppvarmingen kan oppnås med god økonomi sammenliknet med elektrisk oppvarming. Resultater fra et slikt prosjekt er vist i figur 9. Histogrammet angir det månedlige varmebehov for en bolig med 160 m² boligflate og dekningsbidraget fra energitaket. På årsbasis ligger energibesparelsen på fra 35 til 45 %.

2.3 ANDRE ANVENDELSER

Energitaket leverer varme i form av oppvarmet vann, og kan derfor være aktuelt i ulike situasjoner med vedvarende behov for lavtemperatur varme. Hoteller og idrettsanlegg har gjerne et stort varmtvannsforbruk, og forbruket har dessuten en sesongprofil som passer med tilgangen på sol.

Ved oppvarming av svømmebad og bassenger kan bassengvannet brukes direkte som kjølemedium i energitaket. Anlegget blir derfor meget enkelt og økonomien tilsvarende god.

3 MATERIALER

3.1 DEKKPLATE

Kravet til dekkplaten er at den gir god beskyttelse, er transparent for solstråling og gir god termisk isolasjon av underliggende tak. Både plast (polykarbonat) og glass er aktuelle materialer.

Polykarbonatplatene er celleplater med god isolasjonsevne og betydelig mekanisk styrke. Materialet er temperaturbestandig og har gode optiske egenskaper. Brytningsindeks $n = 1.59$.

Misfarging (guining) på grunn av UV-stråling har tidligere vært et problem, men dette er eliminert ved hjelp av UV-filter. I løpet av 10 år reduseres energitransmisjonen mindre enn 3 %.

Materialet har en relativt stor termisk utvidelseskoeffisient (65×10^{-6} grad⁻¹) Dette må tas hensyn til ved innfesting av store plater.

Dekkplater av glass bør fortrinnsvis bestå av to lag. Det anbefales å bruke herdet glass. Dersom de to glassrutene er forseglet er herdet glass helt nødvendig for å unngå brekasje.

3.2 ABSORBATOR OG VARMEVEKSLE

Dette er aluminiumsplater med tykkelse 0.5 mm. Det må være god kontakt mellom platene for å sikre en best mulig varmeovergang.

Platene er letteloksert og brennlakert. De utsettes ikke for nedbør, men kommer kun i kontakt med vannet i varmesystemet.

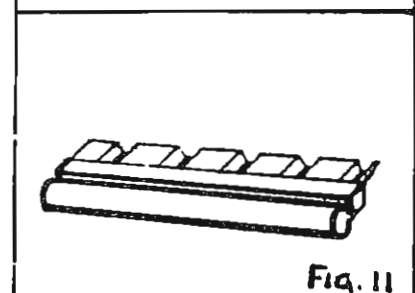
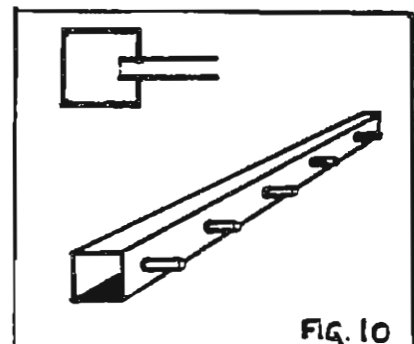
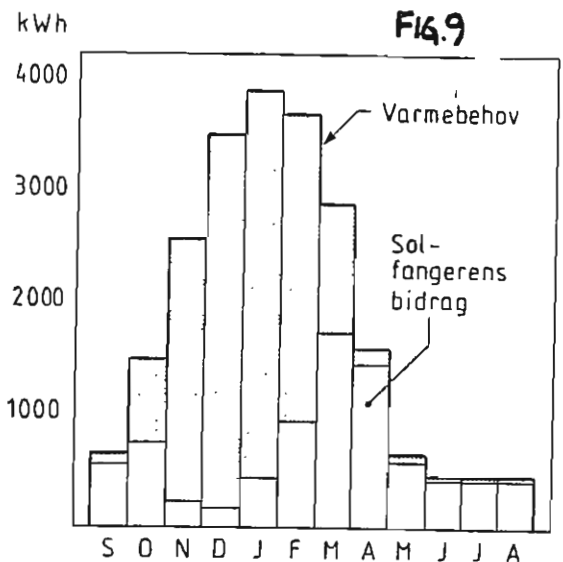
Det er ingen korrosjonsproblemer så lenge vannet holder tilfredstillende kvalitet og så lenge galvaniske spenninger kan elimineres. Komponenter av kopper bør unngås. Forøvrig blir taket elektrisk frakoplet det øvrige varmesystem ved at det benyttes plast (f.eks. polyetylen) i forbindelsesrørene.

Den termiske utvidelseskoeffisient er $24 \cdot 10^{-6} \text{ grad}^{-1}$. Derfor må også aluminiumsplatene festes slik at det gis rom for de termiske bevegelser. Det må regnes med en temperaturvariasjon på minst 100° .

3.3 VANNTILFØRSEL OG NEDLØP

Varmen ledes bort fra taket ved hjelp av vann som fordeles i de trapesformede kanalene i varmevekslerplaten. Dette besørges av et firkantet aluminiumsrør med utløpsrør av silikongummi, figur 10.

Vannet samles i en aluminiumskanal i nedkant av taket, figur 11. Det er festet et stykke av den profilerte varmevekslerplaten til samlekanalen, denne tjener som føring når takmodulene tres ned i kanalen. Godstykkelsen i kanalene varierer mellom 2.5 og 3.5 mm. Vanngjennomstrømningen i taket bør ligge i området $0.5 - 1 \text{ l/min.m}^2$.



4 UTFØRELSE OG BRUK

4.1 MODULER

For å sikre en jevn utførelseskvalitet leveres taket i prefabrikerte moduler med bredde 90 cm og lengde etter mål. Største lengde per enhet er 6 m, men platene kan skjøtes ved omlegg.

Figur 12 viser en modul. Dekkplaten av polykarbonat har en avstand på 10 mm til absorbatoren, besørget av aluminiumsprofiler (avstandslister) mellom platene. Listene danner et rutemønster med bredde 45 cm og høyde 60 cm.

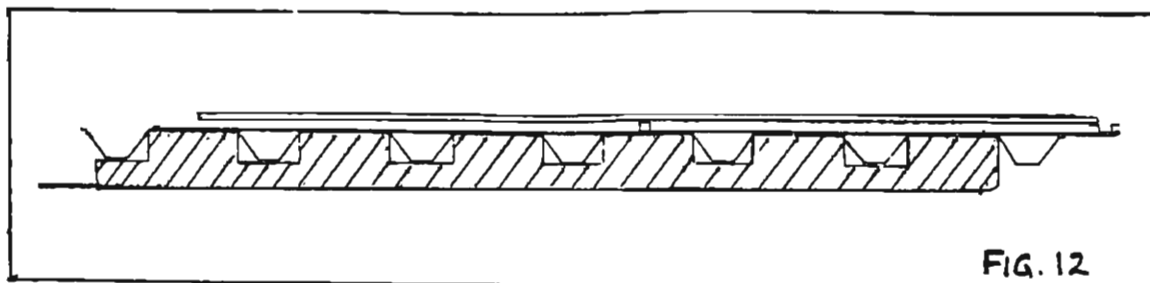


FIG. 12

Det er isolert med mineralull på baksiden, og isolasjonen holdes på plass av en vindtett duk som er festet til avstandsklosser i hvert festepunkt for taket (avstands-listenes krysspunkter).

Sammenkoplingen av moduler er vist på figur 13. Varmeveksler og vindduk stikker utenfor på den ene siden av modulen, og neste modul legges opp i trapeset slik at både absorlator og varmeveksler overlapper.

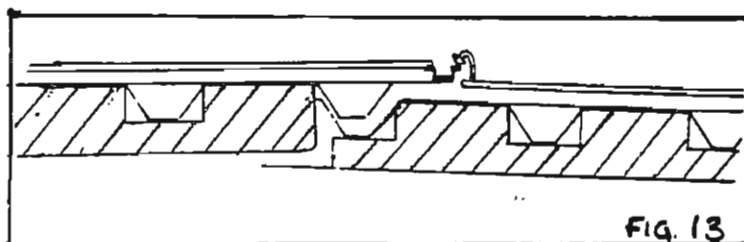


FIG. 13

Energitaket krever ikke et tett undertak, men kan legges rett på underlag av bærende lekter. Det tåler ikke gangtrafikk, og en er derfor avhengig av spesielle stiger som kan forskyves langs mønet når taket skal inspiseres.

4.2 MONTERING

Først monteres samlekanalen i nedkant av taket. Ved store lengder må benyttes flere kanaler, typisk lengde per kanal er 6 m. Samlekanalen legges på et deksel som sørger for at ved en eventuell tiltetting ledes vannet ned i takrennen.

Modulene legges på horisontale lekter med innbyrdes avstand på 60 cm. Dette passer til skruefestene for taket.

Lektene plasseres med utgangspunkt i samlekanalen. Valg av lekter gjøres utfra dimensjonerende vind- og snøbelastning.

Figur 14 viser øvre avslutning av modulene. Absorbatoren stikker 6 cm utenfor varmeveksleren, og gir derved rom for fordelingskanalen. Dekkplaten og avstandslistene avsluttes i henhold til målene på taket.

Tilsvarende stikker absorbatoren 5 cm nedenfor varmeveksleren i nedkant av modulen som vist på figur 15. Også her kuttes dekkplaten og avstandslistene etter takets mål. Detaljer vedrørende monteringen fremgår av figur 16.

Etter at modulene er ført ned i samlekanalen, festes de med gjennomgående skruer med skive og pakning til den underliggende lekt. Modulskjøtene dekkes med profillister av polykarbonat som også

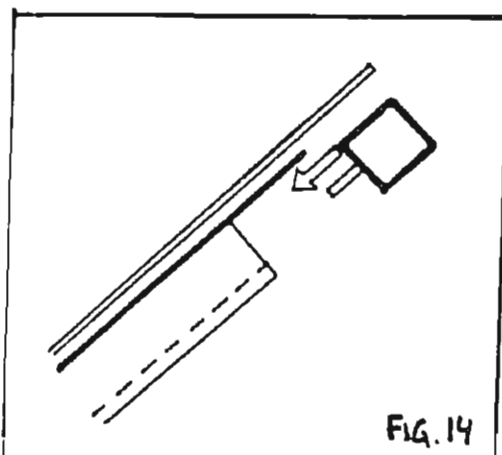


FIG. 14

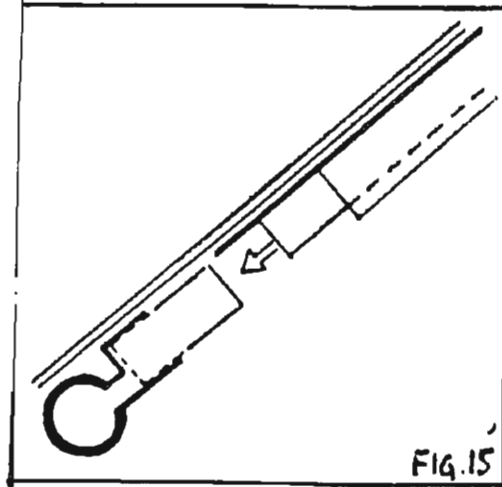
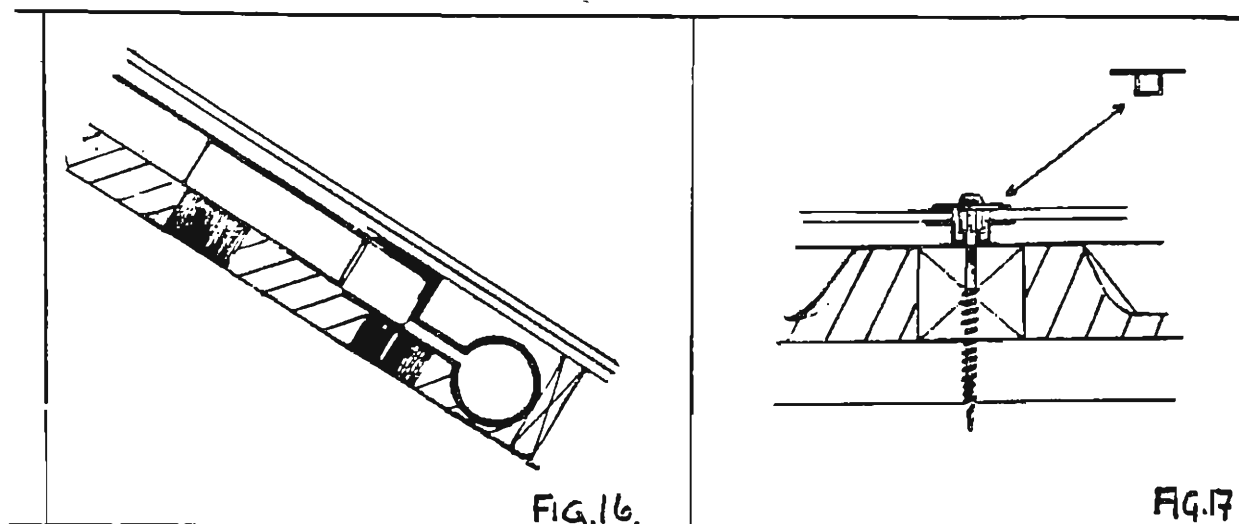


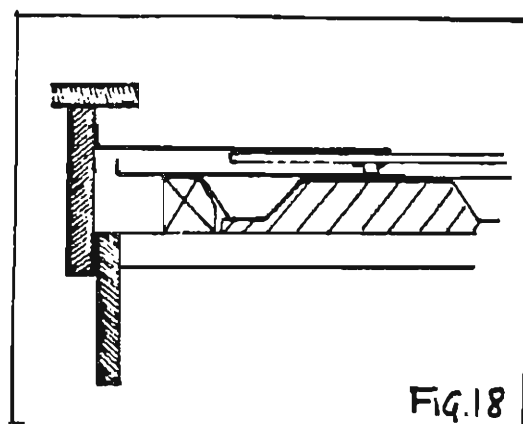
FIG. 15



festes med skruer. Montasjen er vist på figur 17.

Det er ingen pakning mellom dekkplate og skjøtelist, men vann som eventuelt trenger inn vil renne ned i den underliggende aluminiumskanalen og derfra ned i takrennen.

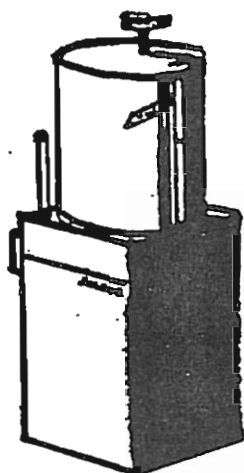
Det eksisterer tilfredstillende løsninger når det gjelder takets avslutning mot gavl (figur 18) og møne. Møneløsningen avhenger av motstående taks kledning.



4.3 SPESIELLE FORHOLD

Under spesielle temperaturforhold kan det temporært dannes kondensstriper i cellene i dekkplaten. Dette motvirkes ved hjelp av avslutningslister i aluminium som festes til dekkplaten i nedkant av taket. Listene beskytter samtidig dekkplaten for mekaniske skader.

Snø som legger seg på taket vil raskt kunne fjernes ved å pumpe varmt vann gjennom taket noen minutter. Styringsenheten til energisystemet har egen bryter for fjerning av snø. Derved blir det lite behov for gangtrafikk på taket.



SOLBEREDER

VIRKEMÅTE

Solberederen består av to tanker som er montert i hverandre. Den ytre tanken inneholder det vannet som sirkulerer gjennom energitaket. Den indre tanken rommer bruksvannet. Veggene i den indre tanken virker som en varmeveksler og overfører solvarmen til bruksvannet. Tilkoplingen av vann og elektrisitet er som for en standard villabereder.

Innertanken har et elektrisk varmeelement. Dette er termostatstyrt og sørger for at innertanken alltid inneholder et tilstrekkelig forråd av varmt bruksvann med ønsket temperatur.

YTTERETANKEN

er laget av 2.5 mm tykke aluminiumsplater som er sveiset sammen. Bunn- og toppstykket er kvadratiske.

Dimensjoner: Bredde = dybde = 62.5 cm (uten isolasjon)
Høyde = 125 cm
Volum = 488 liter.
Netto vannmengde = ca. 370 liter

Form og dimensjoner er valgt slik at tanken lett kan transporteres gjennom standard døråpninger og slik at den kan plasseres i hjørner for derved å beslaglegge minimal gulvplass. Videre gjør formen det enkelt å kople flere tanker sammen i en tett matrise dersom en ønsker et større lagervolum.

Ytteretanken isoleres med 5 cm tykk styropor under og over, og med 5 cm tykk mineralull på sidene. Tanken mantles med 0.5 mm tykke aluminiumsplater. Isolering og mantling skjer ved installasjonen.

I toppplaten er det et hull som passer til dimensjonen på den indre tanken. Innertanken stikkes halvveis ned i ytteretanken gjennom denne åpningen. Mellom de to tankene er en pakning av silikon gummi.

Alle rørtilkoplinger til ytteretanken går via toppplaten.

INNERTANKEN

er en sirkulær høytrykketank i rustfritt stål. Den øvre halvdel er isolert med 4 cm tykk mineralull og mantlet med stålplater. Vanntilkoplingen skjer i toppen av innertanken.

Dimensjoner: Diameter uten isolasjon = 50 cm
 Diameter med isolasjon = 58 cm
 Høyde = 109 cm
 Volum = 200 liter

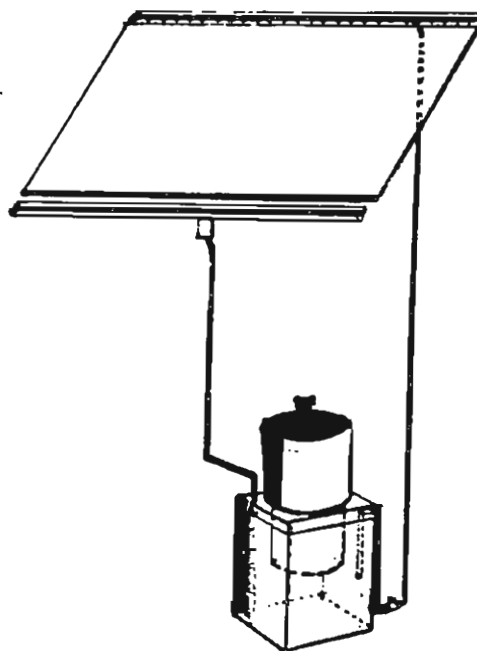
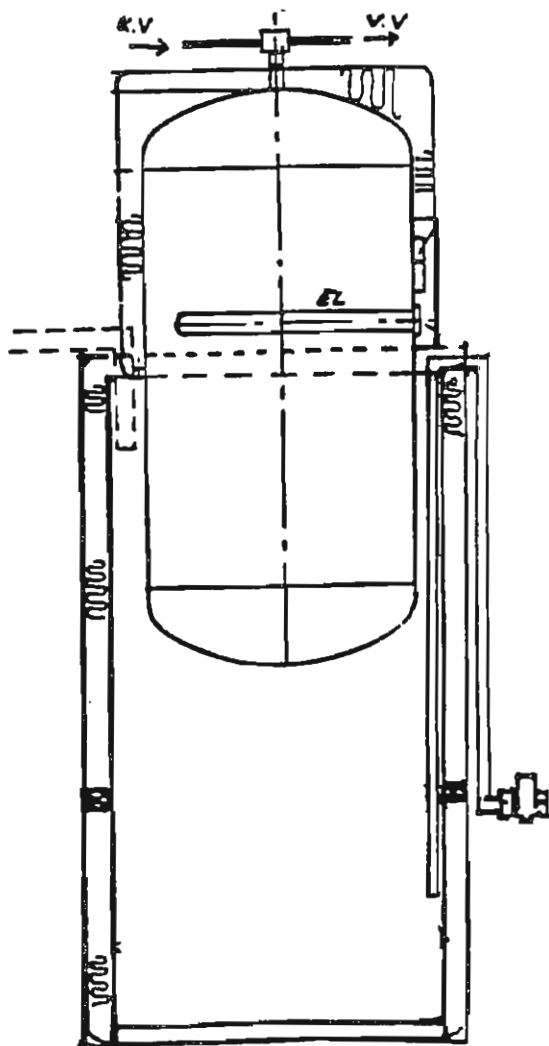
Innertanken bygger ca. 65 cm over yttertanken. Monteringen krever derfor en fri høyde på minimum 2 meter.

Det elektriske varmeelementet er montert midt i innertanken for å utnytte temperaturskiktingen i vannet. Standard effekt er 2 kW, men også andre elementer kan leveres.

VANNSIRKULASJONEN I ENERGITAKET

besørges med en pumpe som gjerne monteres til solberederen. Pumpeeffekten vil variere etter høyden vannet skal løftes og dimensjonene på taket. Normal pumpeeffekt er 200 til 400 W.

På solberederen er også montert styringssystem for vannsirkulasjonen i taket. Her finnes også startknapp for avtining av snø på taket.



SIMULERING AV SOLENERGIUTBYTTE

VILLA ANMELDT 1

OSLO 19.2.91

1. METODE

Bidraget fra solvarmeanlegget er beregnet ved simulering av temperatur-, strålings- og energiforhold på timebasis.

Temperaturen i energitaket bestemmes utfra innstråling og utetemperatur. Straks tak-temperaturen overstiger temperaturen i varmelageret, beregnes energlutbyttet per kvadratmeter tak ved hjelp av en lineær funksjon for effektiviteten,

$$P = e \cdot I = A \cdot I - K(T_{\text{tak}} - T_{\text{u}})$$

I beregningen er brukt følgende koeffisienter:

$$A = 0.70, \quad K = 7.0 \text{ W/m}^2\text{grad.}$$

Temperaturen i varmelageret bestemmes utfra utvunnet energi og avgitt energi. Energi avgis til varmt bruksvann, dette bidraget bestemmes utfra tappetemperatur T_{u} , varmelagertemperaturen T_{lag} , kaldtvannstemperaturen T_{u} og varmtvannsforbruket V_{u} i det aktuelle tidsintervall.

Energi avgis også til romoppvarming. Dette bidraget bestemmes utfra T_{lag} og returtemperaturen i gulvvarmesystemet. Denne holdes fast på 25°C, mens turtemperaturen bestemmes utfra sirkulerende vannmengde og fyringsbehovet per tidsenhet. Dekningsgraden er 100 % så lenge T_{lag} er høyere enn turtemperaturen i gulvvarmesystemet, og ellers lik forholdet $(T_{\text{lag}} - T_{\text{retur}})/(T_{\text{tur}} - T_{\text{retur}})$.

Dekningsgrad på årsbasis er bestemt av innstråling, temperaturforhold og varmebehovet til henholdsvis oppvarming og varmt vann. Innstrålingen legges inn som en sannsynlighetsfunksjon der det tas hensyn til periodisitet i værtype og korrelasjon mellom varighet av godt og dårlig vær. Det totale strålingsbidraget og strålingsbidraget ved intensitet over 200 W/m² pålegges overensstemmelse med eksperimentelle verdier.

Utetemperaturen legges inn som middeltemperaturen per måned. Varmebehovet til varmtvann og oppvarming legges inn som døgnverdier, eller kan parametriseres som funksjon av temperaturen.

2. FORUTSETNINGER

Beregningene er foretatt for et anlegg med 45 m² stort sydvendt energitak med en helningsvinkel på 45 ° med horisontalplanet.

Som varmelager benyttes en 600 liter SOLBEREDER og en betongsåle på ca. 10 m³. Varmekapasiteten er satt til 6.4 kWh/grad. Betonglageret kan eventuelt utkoples i sommerhalvåret.

Solinnstrålingen per m² er bestemt utfra følgende middelveidier.

TABELL 1. Innstråling i kWh/m² år mot sydvendt flate i 45 ° helning.

	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DES
A	23	56	106	121	152	146	148	136	98	57	23	18
B	23	48	86	104	134	126	128	119	82	45	16	13

A: Total innstråling B: Innstråling med intensitet over 200 W/m².

Det er benyttet middeltemperaturer for Blindern.

Oppvarmingsbehov og varmtvannsforbruk er beregnet.

3. RESULTATER

Tabellene 2 til 7 viser resultater fra simuleringer under angitte forutsetninger.

De 6 simulerte år gir oss anledning til å beregne årsmiddel og variasjon i solenergibidraget. Resultatet er presentert i tabell 8. I tillegg til de oppgitte energibehov, har vi tatt med energibruken til drift av solvarmeanlegget. Anlegget drives av en pumpe med ca. 350 W inngangseffekt. Med en gjennomsnittlig driftstid på to timer per dag året gjennom får vi et ekstra energiforbruk herfra på 256 kWh.

TABELL 2

simulering 19/2/1991, kl. 9:10:47, dager 1 - 365, timestep= 1.00
 Paneldata : Breddegrad= 59.92, Vinkel= 45.0, Asimut= 0.0, Areal= 45.0 m2
 - virkningsgrad=-7.00x+ 0.7

Klimadata : T(middel) ute= 5.9 T(utslag)=11.0 Varmeste dag=199 Skyp.=0.6

Systemdata: Vannvolum= 5.5 m3, V.strm= 1.000 m3/h, T.retur=25 OC

Forbruk : VVann=0.180 m3/d, 55 OC, Oppv.behov i perioden= 4476 kWh

Solbidrag (kWh): Tot.: 3604 (45%), VVann: 2344 (65%), Romvarme: 1260 (28%)

(Alt i kWh)	Innstrling	Varmtvann		Romvarme		
Mned	/m2	>200W	fra sol	forbruk	fra sol	forbruk
januar	27	21	44	336	1	918
februar	44	38	119	298	123	789
mars	119	111	210	327	476	481
april	125	117	271	308	250	250
mai	196	193	306	306	101	101
juni	174	169	284	284	20	20
juli	132	122	283	283	4	4
august	121	114	279	279	4	4
september	74	67	266	272	64	64
oktober	38	31	139	290	216	297
november	18	10	70	293	0	656
desember	16	10	74	306	0	892
Ar	1082	1003	2344	3583	1260	4476

TABELL 3

simulering 19/2/1991, kl. 9:13:11, dager 1 - 365, timestep= 1.00
 Paneldata : Breddegrad= 59.92, Vinkel= 45.0, Asimut= 0.0, Areal= 45.0 m2
 - virkningsgrad=-7.00x+ 0.7

Klimadata : T(middel) ute= 5.9 T(utslag)=11.0 Varmeste dag=199 Skyp.=0.6

Systemdata: Vannvolum= 5.5 m3, V.strm= 1.000 m3/h, T.retur=25 OC

Forbruk : VVann=0.180 m3/d, 55 OC, Oppv.behov i perioden= 4476 kWh

Solbidrag (kWh): Tot.: 3276 (41%), VVann: 2239 (62%), Romvarme: 1037 (23%)

(Alt i kWh)	Innstrling	Varmtvann	Romvarme
Mned	/m2	>200W fra sol forbruk	fra sol forbruk
januar	21	12 49 336	0 918
februar	40	34 109 298	67 789
mars	84	76 176 327	309 481
april	113	105 269 308	250 250
mai	117	107 281 306	101 101
juni	160	156 284 284	20 20
juli	119	110 283 283	4 4
august	106	98 279 279	4 4
september	75	67 255 272	64 64
oktober	47	39 130 290	212 297
november	16	7 76 293	7 656
desember	12	4 48 306	0 892
Ar	911	814 2239 3583	1037 4476

TABELL 4

simulering 19/2/1991, kl. 9:14:55, dager 1 - 365, timestep= 1.00
 Paneldata : Breddegrad= 59.92, Vinkel= 45.0, Asimut= 0.0, Areal= 45.0 m2
 - virkningsgrad=-7.00x+ 0.7

Klimadata : T(middel) ute= 5.9 T(utslag)=11.0 Varmeste dag=199 Skyp.=0.6
 Systemdata: Vannvolum= 5.5 m3, V.strm= 1.000 m3/h, T.retur=25 OC
 Forbruk : VVann=0.180 m3/d, 55 OC, Oppv.behov i perioden= 4476 kWh
 Solbidrag (kWh): Tot.: 3681 (46%), VVann: 2340 (65%), Romvarme: 1341 (30%)

(Alt i kWh)	Innstrling	Varmtvann		Romvarme	
Mned	/m2	>200W	fra sol forbruk	fra sol forbruk	
januar	17	13	43	336	0 918
februar	54	47	123	298	212 789
mars	83	75	177	327	332 481
april	102	92	252	308	250 250
mai	148	142	281	306	101 101
juni	153	147	284	284	20 20
juli	129	122	283	283	4 4
august	144	137	279	279	4 4
september	77	69	269	272	64 64
oktober	57	47	170	290	290 297
november	31	22	98	293	64 656
desember	18	14	81	306	0 892
Ar	1016	927	2340	3583	1341 4476

TABELL 5

simulering 19/2/1991, kl. 9:16:34, dager 1 - 365, timestep= 1.00
 Paneldata : Breddegrad= 59.92, Vinkel= 45.0, Asimut= 0.0, Areal= 45.0 m2
 - virkningsgrad=-7.00x+ 0.7

Klimadata : T(middel) ute= 5.9 T(utslag)=11.0 Varmeste dag=199 Skyp.=0.6
 Systemdata: Vannvolum= 5.5 m3, V.strm= 1.000 m3/h, T.retur=25 OC
 Forbruk : VVann=0.180 m3/d, 55 OC, Oppv.behov i perioden= 4476 kWh
 Solbidrag (kWh): Tot.: 3836 (48%), VVann: 2399 (67%), Romvarme: 1437 (32%)

(Alt i kWh)	Innstrling	Varmtvann		Romvarme	
Mned	/m2	>200W	fra sol forbruk	fra sol forbruk	
januar	45	38	105	336	66 918
februar	68	61	125	298	255 789
mars	150	145	243	327	438 481
april	93	85	224	308	250 250
mai	132	127	306	306	101 101
juni	133	124	284	284	20 20
juli	98	86	283	283	4 4
august	96	89	279	279	4 4
september	82	74	269	272	64 64
oktober	38	30	131	290	226 297
november	17	10	85	293	8 656
desember	6	3	67	306	0 892
Ar	956	873	2399	3583	1437 4476

TABELL 6

simulering 19/2/1991, kl. 9:18:8, dager 1 - 365, timestep= 1.00
 Paneldata : Breddegrad= 59.92, Vinkel= 45.0, Asimut= 0.0, Areal= 45.0 m2
 - virkningsgrad=-7.00x+ 0.7

Klimadata : T(middel) ute= 5.9 T(utslag)=11.0 Varmeste dag=199 Skyp.=0.6

Systemdata: Vannvolum= 5.5 m3, V.strm= 1.000 m3/h, T.retur=25 OC

Forbruk : VVann=0.180 m3/d, 55 OC, Oppv.behov i perioden= 4476 kWh

Solbidrag (kWh): Tot.: 3484 (43%), VVann: 2340 (65%), Romvarme: 1144 (26%)

(Alt i kWh)	Innstrling	Varmtvann	Romvarme
Mned	/m2	>200W fra sol forbruk	fra sol forbruk
januar	35	27	81
februar	41	35	110
mars	113	106	198
april	125	119	266
mai	183	178	306
juni	127	115	284
juli	118	107	283
august	96	88	279
september	51	41	234
oktober	41	32	133
november	24	15	86
desember	12	8	80
Ar	967	870	2340

3583 1144 4476

TABELL 7

simulering 19/2/1991, kl. 9:19:35, dager 1 - 365, timestep= 1.00
 Paneldata : Breddegrad= 59.92, Vinkel= 45.0, Asimut= 0.0, Areal= 45.0 m2
 - virkningsgrad=-7.00x+ 0.7

Klimadata : T(middel) ute= 5.9 T(utslag)=11.0 Varmeste dag=199 Skyp.=0.6

Systemdata: Vannvolum= 5.5 m3, V.strm= 1.000 m3/h, T.retur=25 OC

Forbruk : VVann=0.180 m3/d, 55 OC, Oppv.behov i perioden= 4476 kWh

Solbidrag (kWh): Tot.: 3785 (47%), VVann: 2435 (68%), Romvarme: 1349 (30%)

(Alt i kWh)	Innstrling	Varmtvann	Romvarme
Mned	/m2	>200W fra sol forbruk	fra sol forbruk
januar	23	18	57
februar	54	47	115
mars	130	124	217
april	143	135	290
mai	180	176	306
juni	130	122	284
juli	183	178	283
august	133	126	279
september	80	72	267
oktober	74	63	197
november	19	12	85
desember	11	5	56
Ar	1158	1079	2435

3583 1349 4476

TABELL 8 ARSRESULTATER I kWh.

	TOTALT ENERGIBEHOV	HERAV SOL	NETTO ENERGIBEHOV
MIDDEL, 6 SIM.	11.387	3.611	7.776
STØRSTE UTBYTTE	11.387	3.836	7.551
MINSTE UTBYTTE	11.387	3.276	8.111

Med et boligareal på 110 m² gir dette et netto energibehov per m² boflate på ca 71 (3) kWh/år.

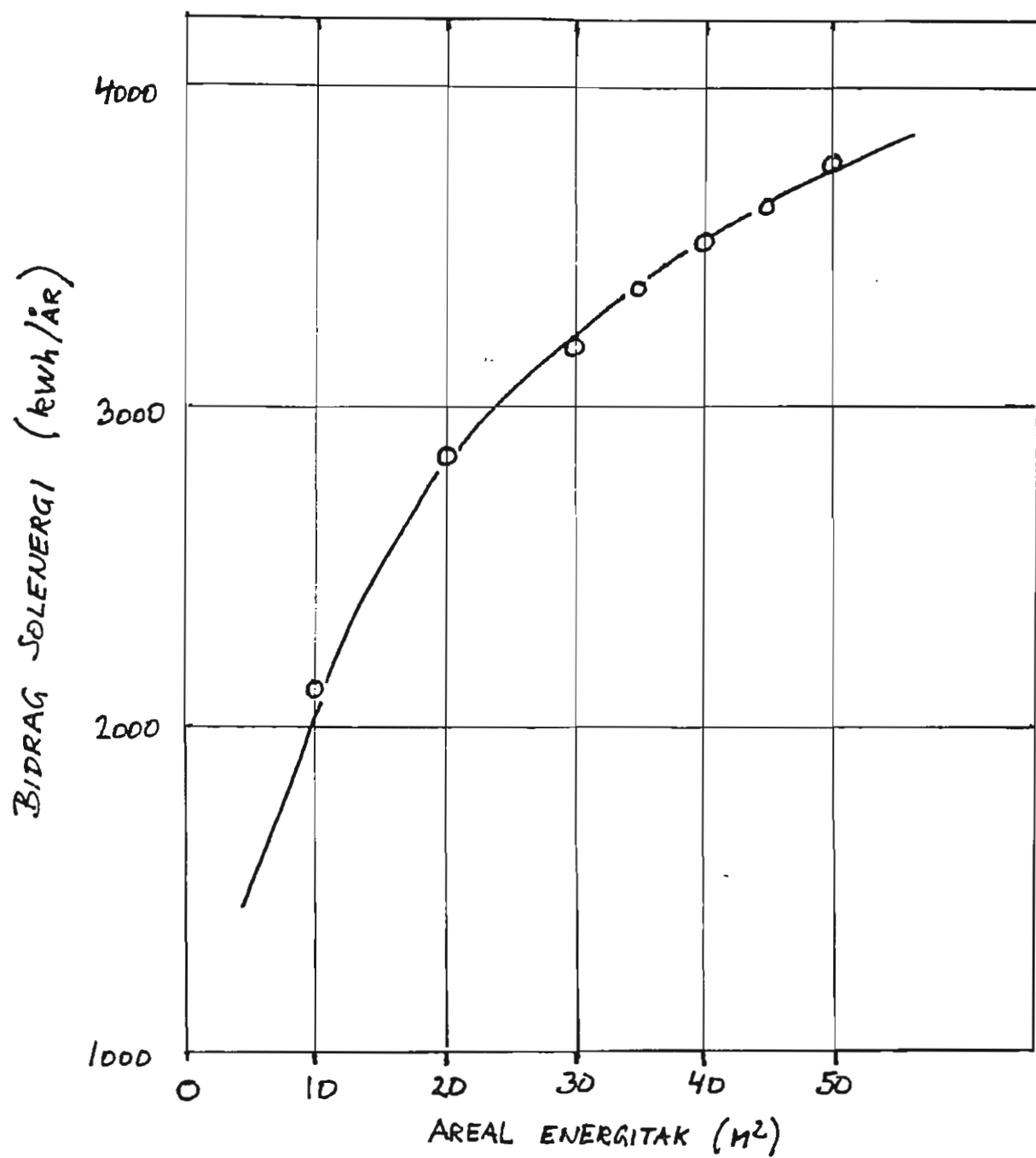
4. VURDERINGER

Som redegjort for er disse beregningene basert på en systemeffektivitet som er målt. Systemet foreslått her har ifølge beregninger og målinger i laboratorieskala en effektivitet som på årsbasis gir ca. 20% høyere utbytte.

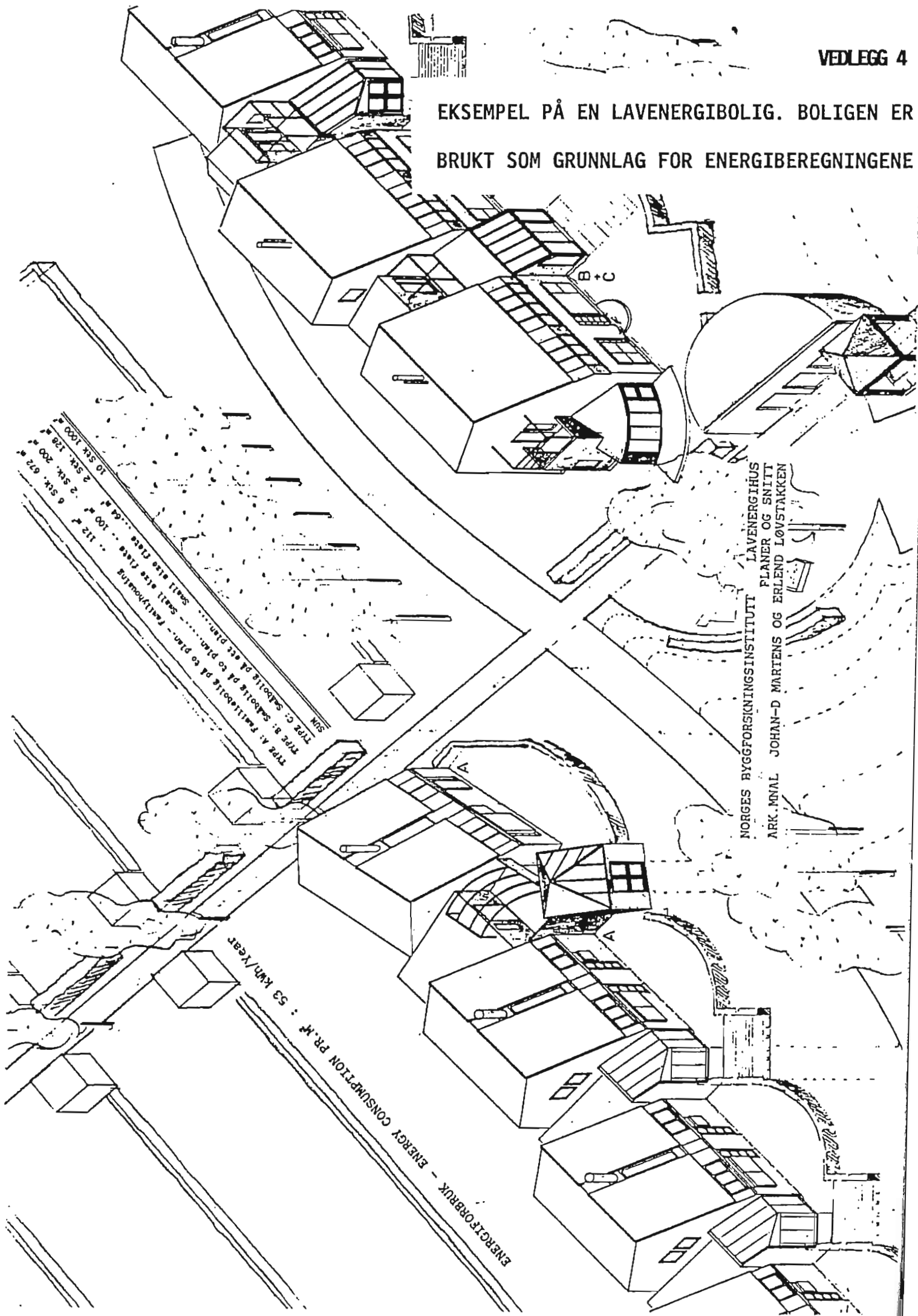
Energibruk til varmt vann er forutsatt å ligge på ca. 3.500 kWh/år. Vi har beregnet forbruket til 180 liter/døgn ved tappetemperatur på 55 °C. På grunn av variasjonen i kaldtvannstemperatur over året gir våre simuleringer 3.583 kWh per år.

Energiutbyttet fra solvarmeanlegget har forskjellig følsomhet mht. variasjoner i fyringsbehov og varmtvannforbruk. Dette framgår også av den prosentvise dekning for hver av forbrukstypene. Øker varmtvannsforbruket, vil mellom 65% og 70 % av økningen dekkes ved økning i solvarmeutbyttet. Dersom fyringsbehovet økes, vil dette i hovedsak føre til en økning i det netto energiforbruk, solbidraget er bare ca. 25 %.

Det beregnede oppvarmingsbehov har lagt en innnetemperatur på 22 °C til grunn. Siden det benyttes gulvvarme er 20°C innnetemperatur akseptabelt, dette gir en reduksjon på ca 1070 kWh i brutto energiforbruk og en tilsvarende reduksjon i netto energiforbruk på ca. 800 kWh. I så fall blir energiforbruket per m² boflate ca. 63 kWh per år.

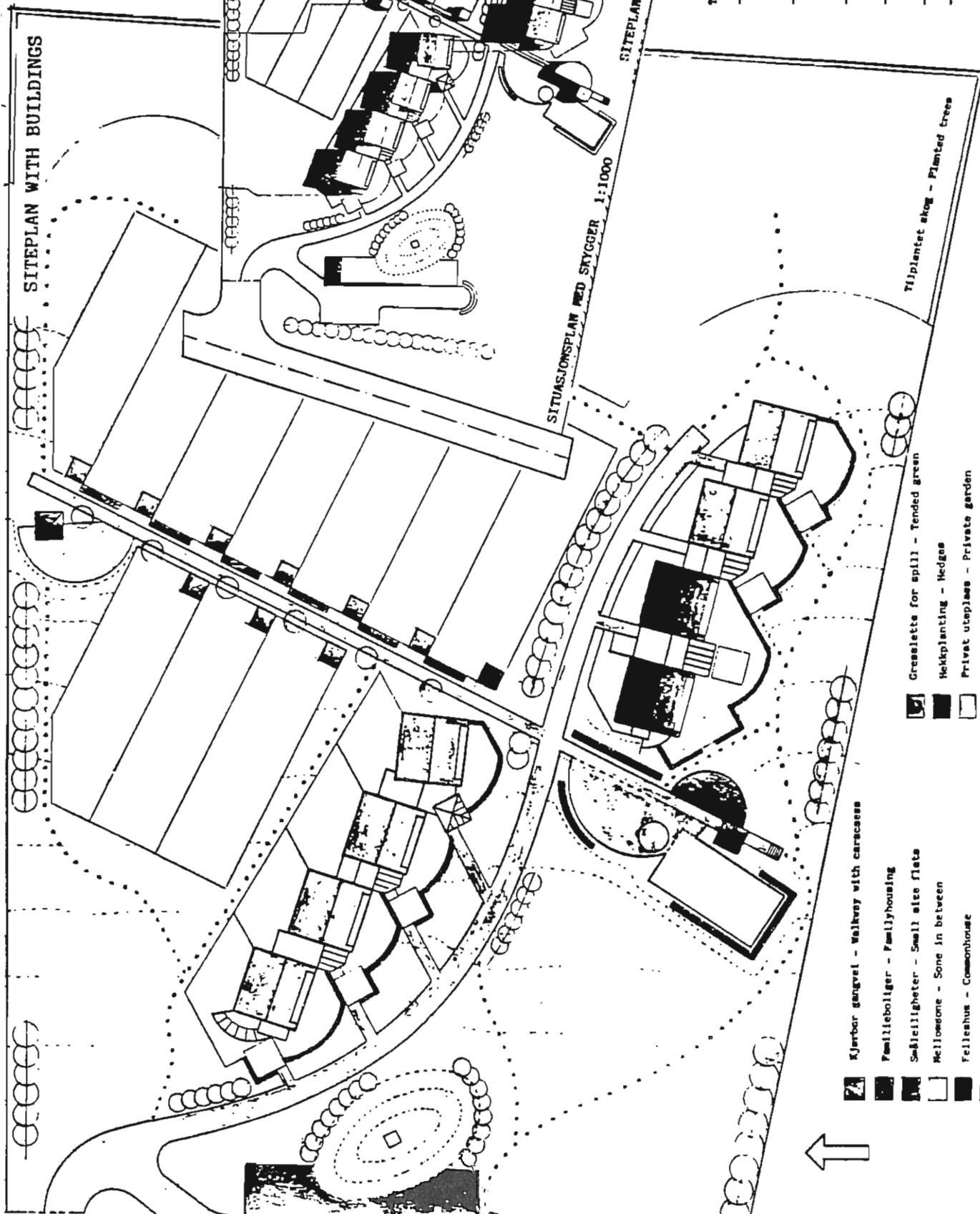


EKSEMPEL PÅ EN LAVENERGIBOLIG. BOLIGEN ER
BRUKT SOM GRUNNLAG FOR ENERGIBEREGNINGENE



- Hødens er plasset og forkevet slik at alle får sol og utsikt mot vest
- Bæst bruk av romdanne elementer for å gi karakter til en eller "karakterles" tomt, (Bepilning, masseforflytning og supplerende mindre bygningakropper)
- Redprioriterin av private utearealer til fordel for "Social sken".
- Mangfoldig utnyttelse av tomt til felles lek/nyttebruk
- Minimalt areal til bilbruk/adkomst.
- Muligheten til videre utbygging på grunnlag av samme arkitekt og parkeringsanviser.

SITEPLAN WITH BUILDINGS



SITUASJONSPLAN MED SKYGER 1:1000

SITEPLAN WITH SHADOWING

THE IMPORTANT POINTS OF THE SITEPLAN

- siting houses to take care of sun, view, and contact with the landscape, towards south and west for all units.
- use of elements creating rooms (plantations, artificial woods, buildings) to give character to a dull site.
- low priority of private gardens, instead a common zone (social area)
- differential use of the site for common use of free areas
- minimum costs in roads and caraccessability
- "free" sites to plan for new housing connected to the original accesssystem

Tilplantet skog - Planted trees

- Grassette for spill - Tended green
- Hekkeplanting - Hedges
- Privat uteplass - Private garden
- Hagepareller - Utility garden
- Friareal - Free land

- Kjører garve - Walkway with carcases
- Familieboliger - Familyhousing
- Småleiligheter - Small size flats
- Mellomsone - Sone in between
- Felleshus - Commonhouse
- Redskapbod - Toolshed
- Lekplass/fellesstun - Playground

TYPE F HOUSE

Mellomrom
In between space

Familiebolig
Familyhouse

Småboliger
Small size flats

Trapperom
Staircase

A

B

C

IDEAS

Familiebolig 1 to plan Type A
Emåboliger/Bofellesskap Type B og C

- Utvidet privatreal som vindfang,
- boder, sommerstue og veksthus.
- Gjennomgang og lunning fra bygge-
- slider av huset.
- Trapperom til småboliger.
- Fellesrom til småboliger eller
- bofellesskap.

**COMPACT, SPECIALLY INSULATED HOUSES
ACTIVE USE OF SUNHEATING
FLEXIBLE HEATING SYSTEM**

FAMILY LIVING IN TWO STOREYS - small size flats in several family houses or living communities.

- Extended private area as windshield, storeroom, summerlivingroom and conservatory.
- Passage through and entrance from both sides of the house.
- Staircase to small size flats.
- Commonroom for small size flats or living-communities.

Soner som kan ha redusert varme og energiforbruk. Mot Nord og Øst.

Prefabrikkert teknisk kjerne med bad. Varmt baderom som fordeler varme til andre rom.

Kjøkken/Allrom med full romtemperatur. Mot Syd og Vest.

PULLVÄRDIG BOLIGPLAN

Selvstændig bolig på 64 m² med alle funktioner og livsstandard.

PLAN SEPARATZD IN SONES

Special zones with reduced heating and use of energy. Towards north and east.

Prefabricated technical cores with bathrooms.
Hot bathrooms transporting heat to other
rooms.

**Kitchen/Allroom with full roomtemperature.
Towards south and west.**

OPTIMAL PLAN

Separate flat, 64m² with all functions and through lifestandard.

ISOLERT KLIMASKJERM

Prefabrikkerte store elementer i
vegger og tak.

**EFELLES INNSTALLASJONSVEGG FOR ALLE
ØRØRINGERNE**

GLASS I VEGGER OG TAK MOT SYD

SOLPANGER 37 - 45 m²

VARMEVEKSLER FOR LUFT

**VARMTVANN PRA SOLFANGER TIL
FORBRUKSVANN OG OPPVARMING AV GULV**

VARMEGJENVINNING FRA SPILLVANN

INSULATED CLIMATEWALL

Prefabricated, big elements in walls and roof.

Common roof for all technical installations.

GLASSING IN WALLS AND ROOF TOWARDS SOUTH

SUNCATCHER 37 - 45 m²

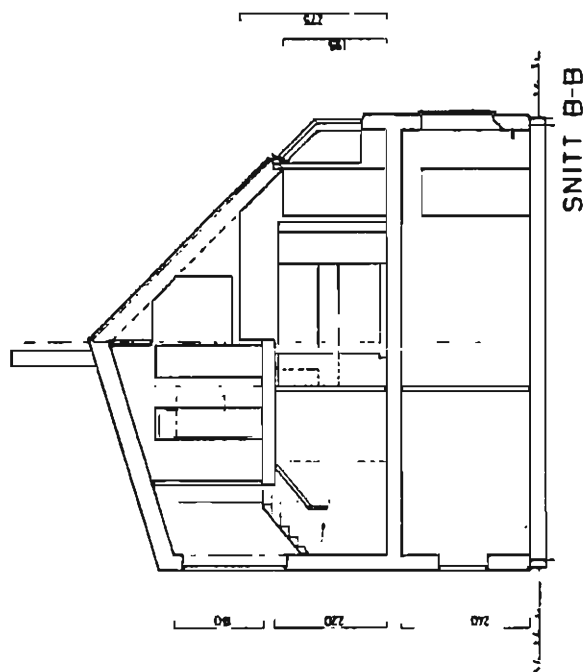
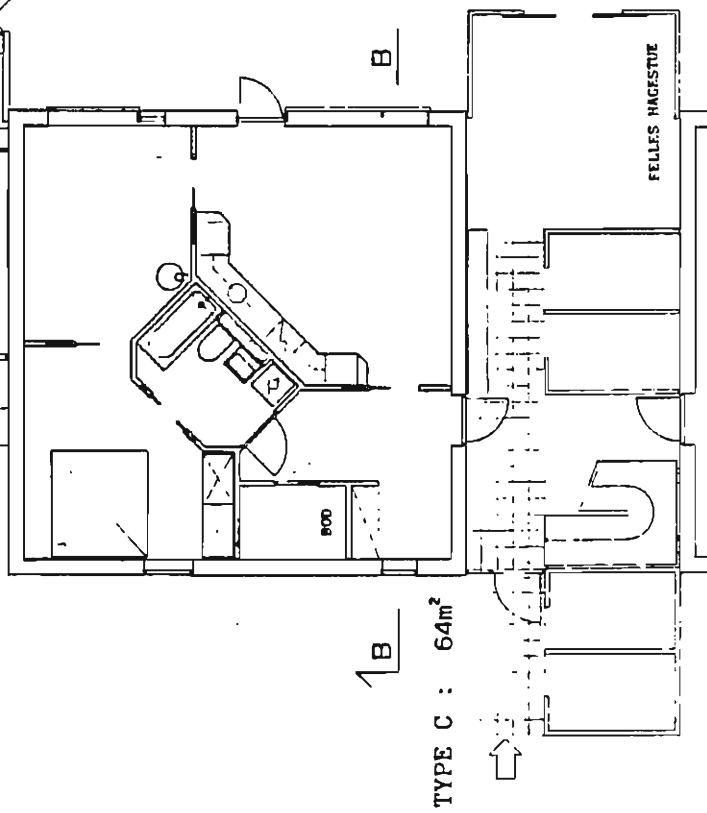
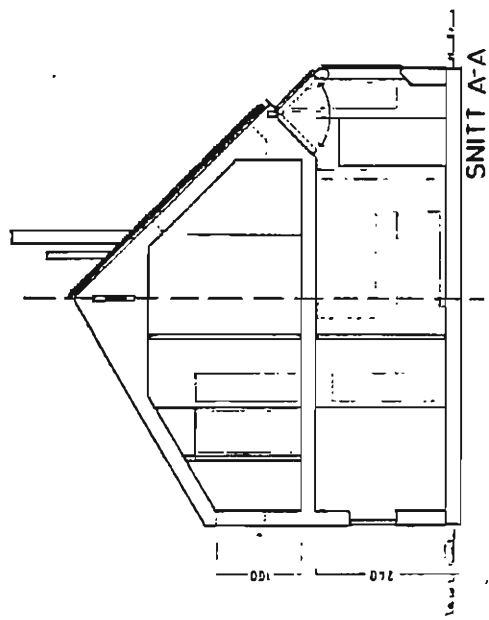
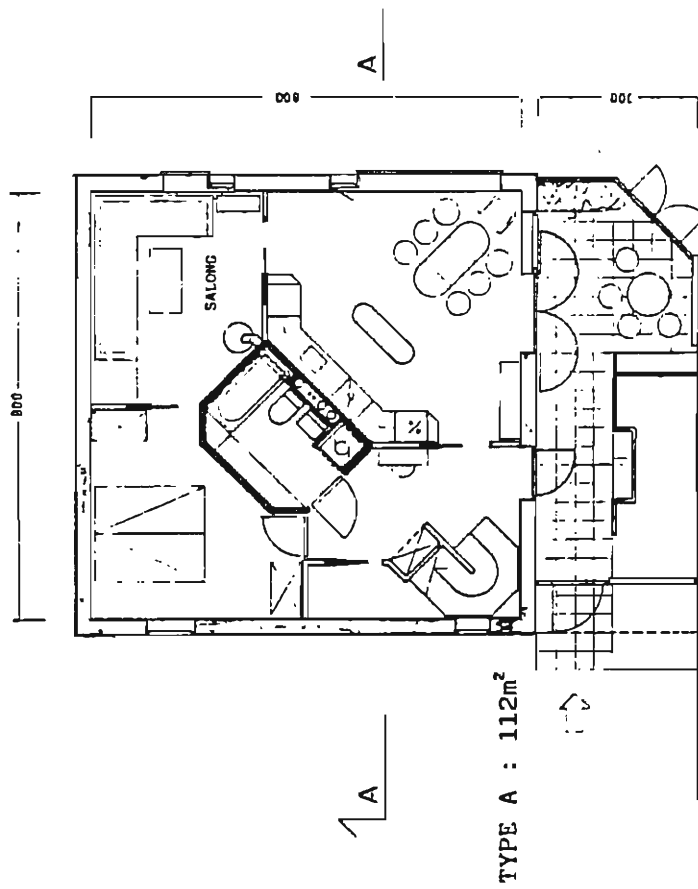
HEATCHANGER FOR AIR

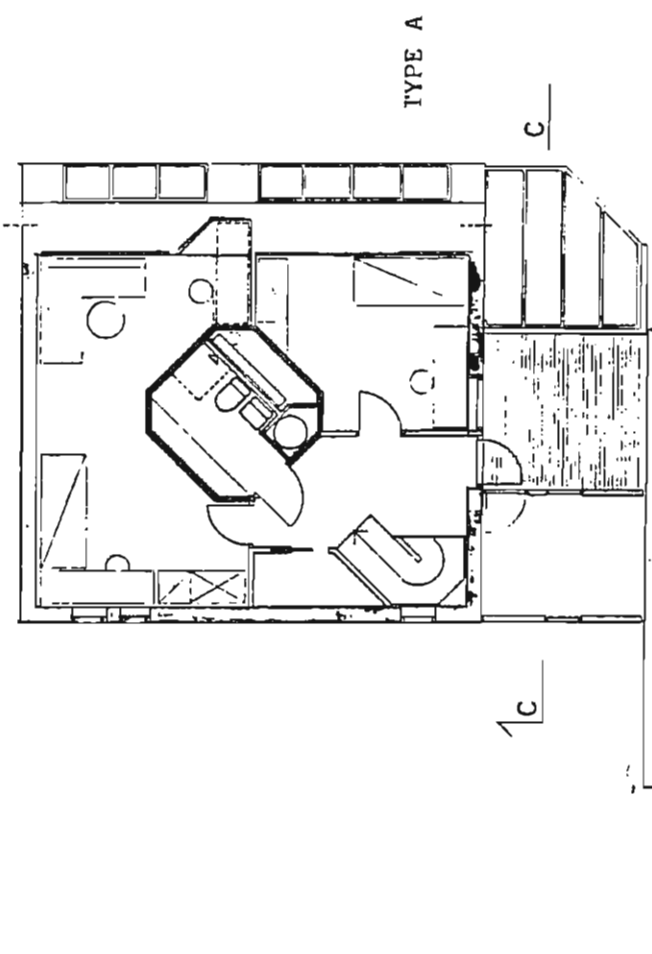
HOT WATER FROM THE SURNCATCHER TO UTILITY WATER AND HEATING OF THE FLOOR

RECYCLING OF HEAT FROM SOIL-WATER

A technical cross-section drawing of a house with a gabled roof. The drawing shows the internal structure, including the roof trusses, walls, and floor. A chimney is visible on the left side, extending from the roofline. The drawing is oriented horizontally, with the roofline on the left and the walls on the right.

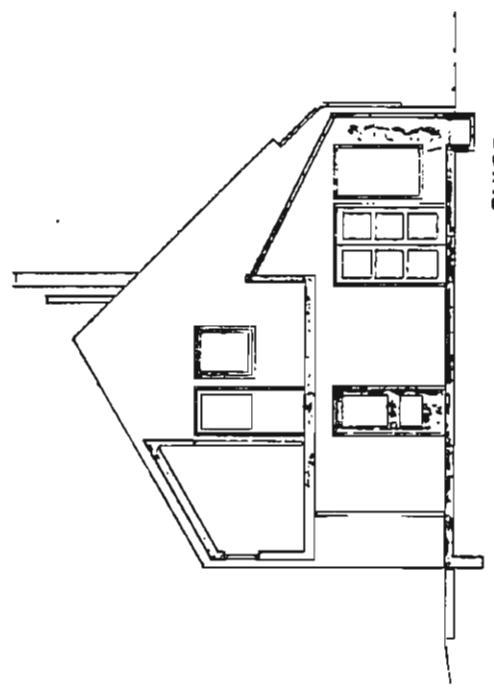
TEKNIKK
TEKNOLOGY



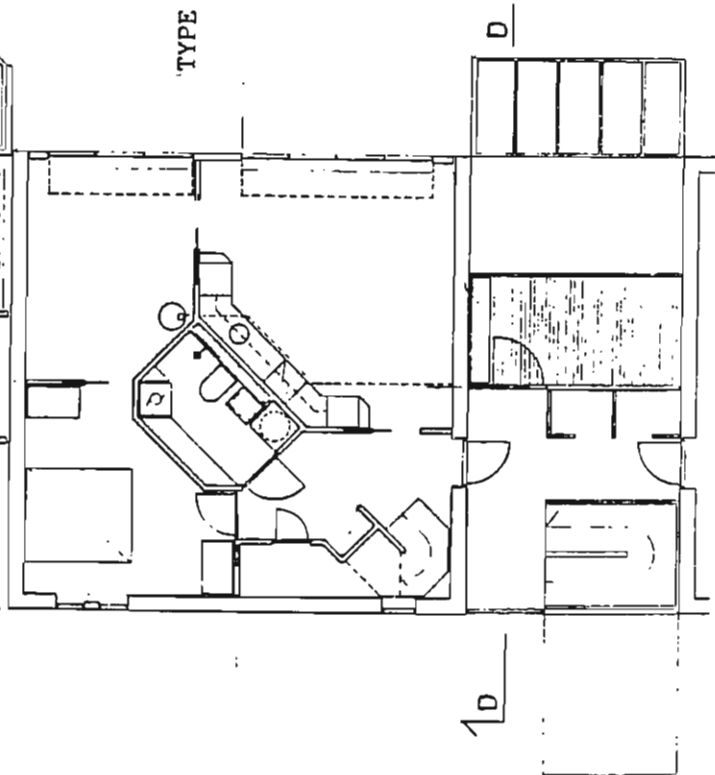


TYPE A

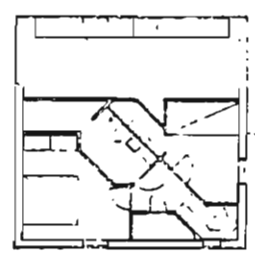
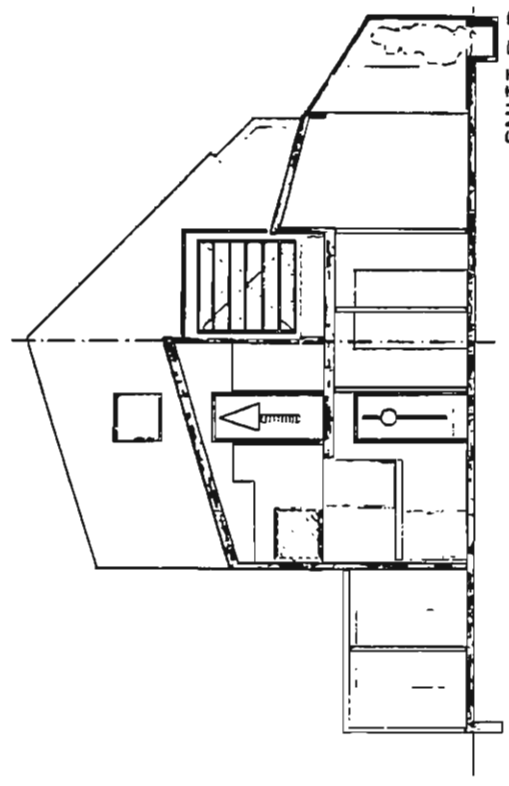
SNITT C-C



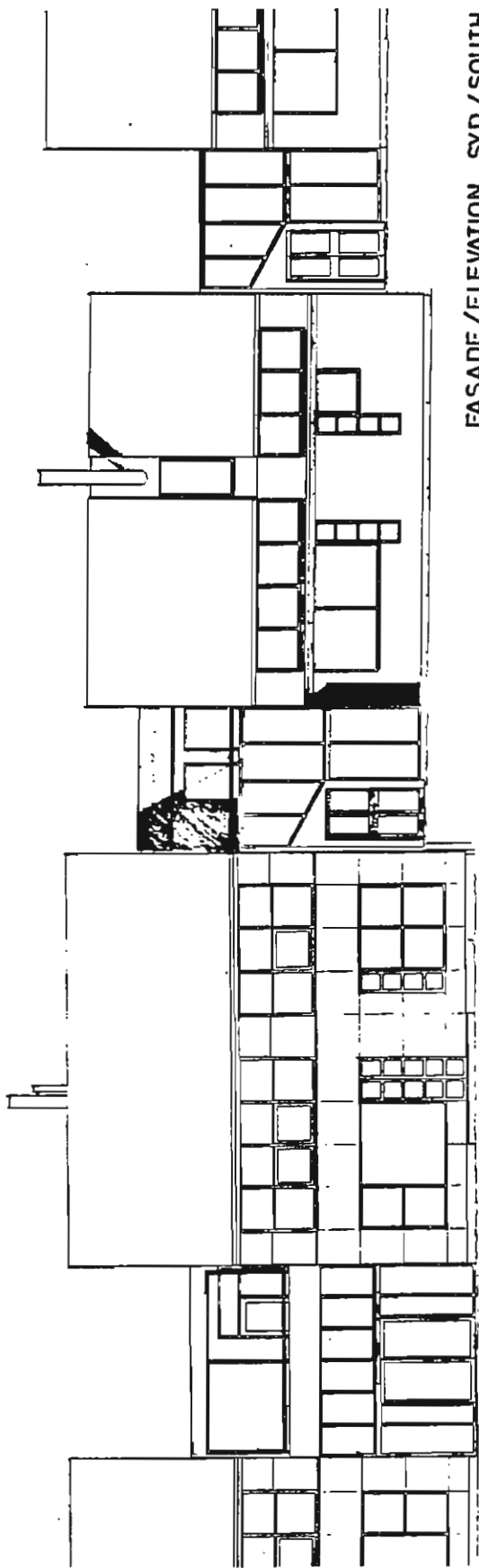
TYPE B : 100m²



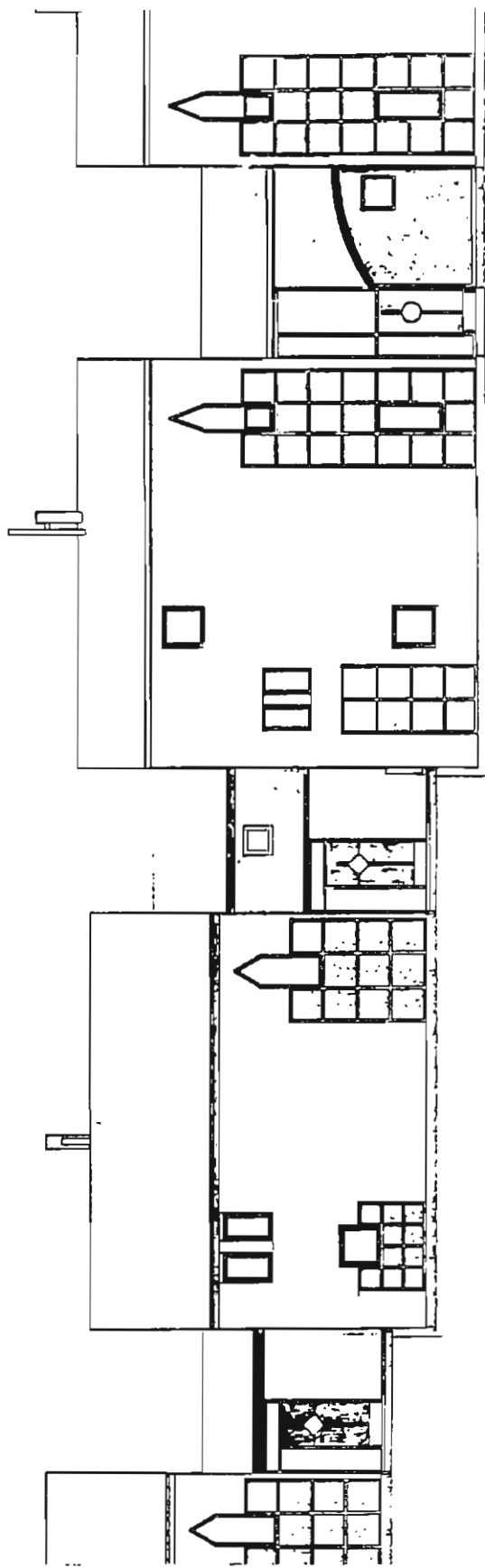
SNITT D-D



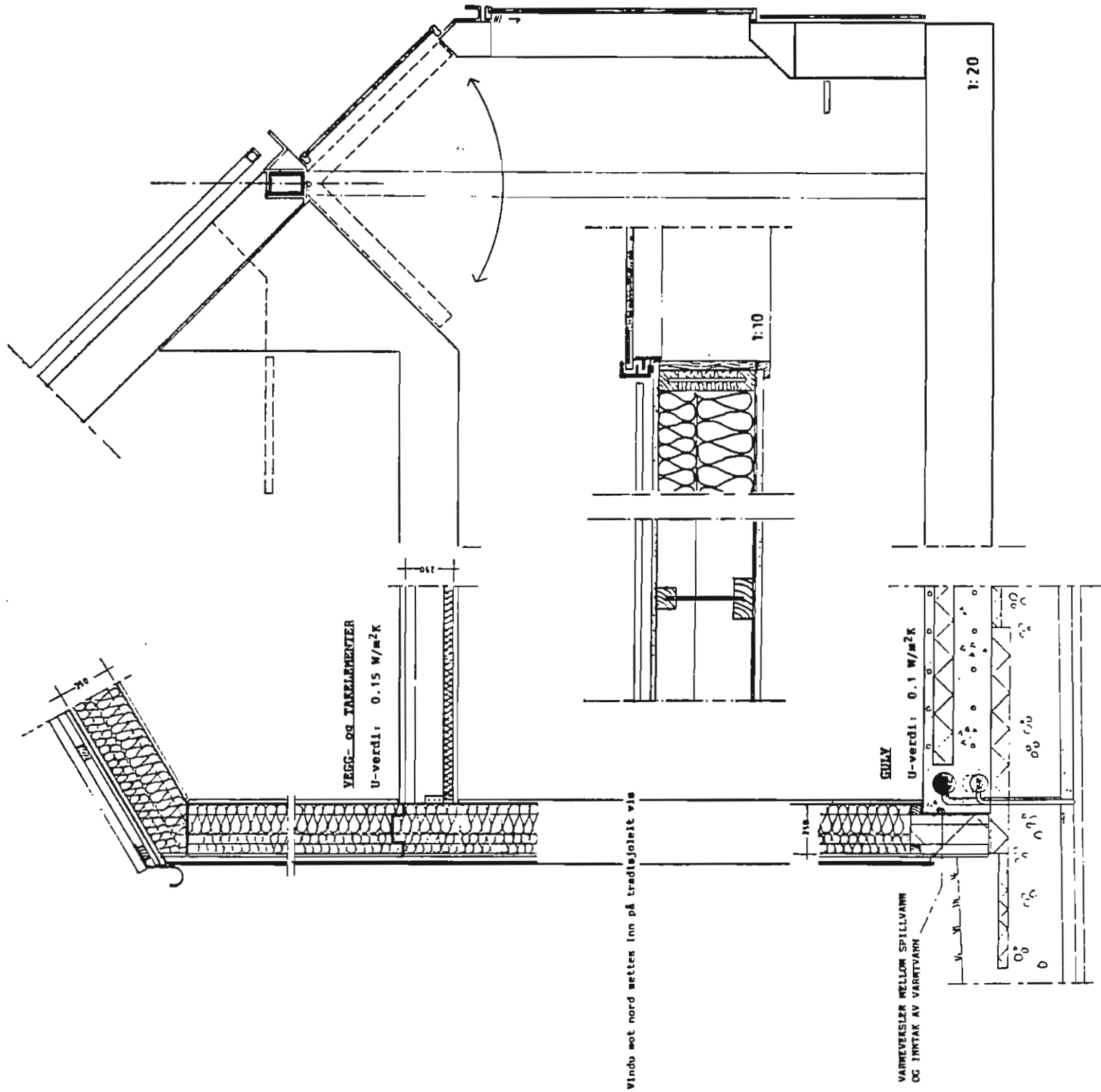
3 ETG SECOND FLOOR TYPE B



FASADE/ELEVATION SYD / SOUTH



FASADE/ELEVATION NORD / NORTH



DETALJER DETAILS

VEGGER OG TAK av Masonitt-stendere/nperrer

Tynne steg som minimaliserer kuldebroene

Utlekket valgfri kledning

Vindu sett på utsiden av veggen for å unngå fuger

Mattisolering av takvinduene

Bærende vegger mot nord og i gavlene

Søyle dragerystem i taket mot syd

Ikkebærende vegg mot syd som tillater store vindusflater uten skyggevirksomheter

Masonite constructions in walls and roof.

Minimal volume in construction to minimize transport of coldness.

Aired external coat of walls, free choice.

Window on the outside of the wall, to reduce gaps between building elements.

Roofwindow insulation during night.

Building construction, separate from the southern facade with large windows

VARMETEKNISK BESKRIVELSE

HUSET VARMS OPP AV GULVVARME I 1. ETG. OG I BADEROMS-KJERNEN. VARME FORDLER SEG DERFRA TIL SOVEROMMENE I 2. ETG. DISSE SUPPLES MED EL-ØVNER HVIS MAN ØNSKER EN HURTIG FORSERINGSEFFEKT.

SOLPANEL

Soloppvarmet vann lagres i en egen tank. Dette går videre til gulvvarme og/eller varmelager i betong (10 m³) under og isolert fra boligen.

Forbruksvannet forvarmes ved at tanken er senket ned i vannet fra solfangeren. Det suppleres med EL.

Merkostnader solfanger, bereder mm.: kr 13.000,-
Merkostnader varmelager i betong: kr 7.000,-
Varmebidrag: ≈ 3.200 kWh

VARMEVEKSLER

Det brukes et balansert ventilasjonssystem. Varm brukt luft fra bad og kjøkken trekkes via varmeveksler ut over tak. Forvarmet friskluft føres til alle rommene i form av baktant innblåsing. Plassering av varmeveksleren i kjernen gjør at rørledningene blir minimale.

Merkostnad: kr 6.000,-
Energibesparelse: ≈ 5.000 kWh

VARMEGJENVINNING FRA "GRÅTT" SPILLVANN

Vanninntak til bereder legges inntil spillvannet og føres rundt ringmuren/varmelageret. Derved forvarmes vannet før det kommer til varmtvannsberederen. Samtidig reduseres varmetapet fra en tilleggsisolert ringmur.

Merkostnad: kr 5.000,-
Energibesparelse: ≈ 600 kWh

VEGG- OG TAKELEMENTER

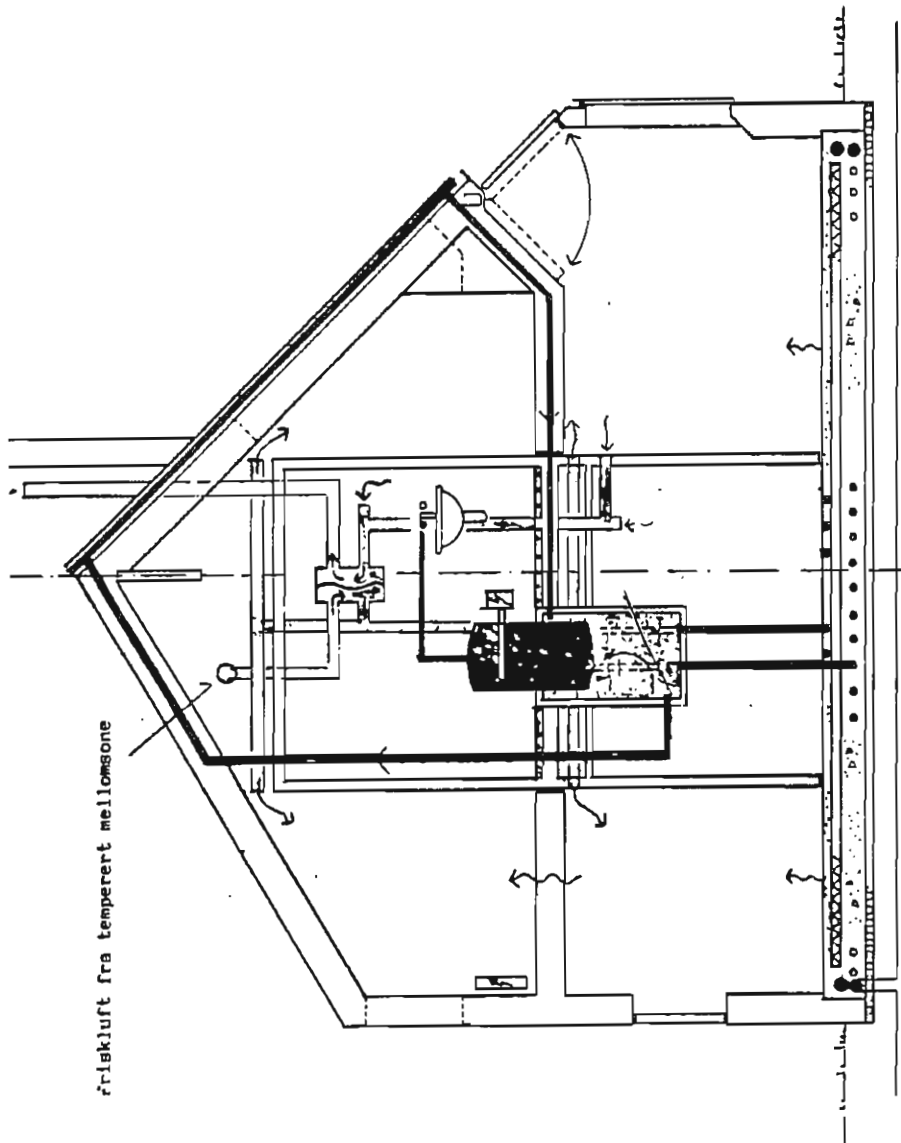
U-verdi: 0.15 W/m²K
Merkostnad: kr 10.000,-

GULV

U-verdi: 0.1 W/m²K
Merkostnad: kr 6.000,-

VINDUER

U-verdi: 1.0 W/m²K
Solfaktor: 0.4
Merkostnad: kr 9.000,-



ENERGIFORBRUK ENERGY CONSUMPTION

Oppvarming	Heat supply	kWh
Ventilasjon	Ventilation	3.140
Varmtvann	Hot Water	960
Husholdning	Household heat	3.500
SUM		2.110
		2.710
Solvarme	Activ solar (37 m ²)	kWh
Forvarming	Preheating of	3.200
av varmtvann	hot water	600
Diff		3.800
		5.910

Energiforbruk pr. m² = 5.910/112 ≈ 53 kWh/år

En tilsvarende bolig uten spesielle energisparetiltak ville i dag bruke ca. 21.000 kWh/år.

Energibesparelsen blir dermed 15.000 kWh/år

Tilleggs kostnadene for å oppnå dette er kr 55.000,-

Dette tilsvarer en merkostnad på 500 kr. pr. m²

11.7. 16.2
76 27