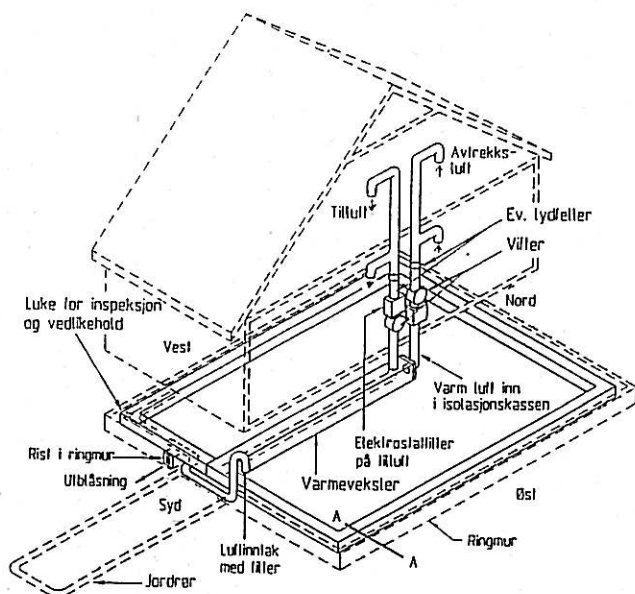


Per Gundersen

Rimelige lavenergiboliger – varmegjenvinning

Nytt, enkelt system for boligventilasjon



160 Prosjektrapport 1994

BYGGFORSK

Norges byggforskningsinstitutt

Per Gundersen

Rimelige lavenergiboliger – varmegjenvinning

Nytt, enkelt system for boligventilasjon

Prosjektrapport 160 – 1994

Prosjektrapport 160

Per Gundersen

**Rimelige lavenergiboliger –
varmegjenvinning**

Nytt, enkelt system for boligventilasjon

Emneord: varmegjenvinning, ventilasjon,
lavenergiboliger

ISSN 0801-6461

ISBN 82-536-0468-8

100 eks. trykt av

Lobo grafisk as

Cyclus resirkulert papir

Omslag 200 g, innmat 100 g

© . Norges byggforskningsinstitutt 1994

Adr.: Forskningsveien 3B
Postboks 123 Blindern
0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 00

Fax: 22 69 94 38 og 22 96 55 42

Innhold

Forord	1
Sammendrag	2
1 Grunnlag	13
1.1 Overordnede kriterier for utforming av ventilasjonsanlegget.....	15
1.2 Integrering av ventilasjonsanlegget i boligen.....	16
1.3 Luftfordeling i referanseboligen.....	17
2 Ventilasjon med varmegjenvinning	19
2.1 Behovsstyrt ventilasjon.....	20
2.2 Varmeveksleren.....	21
2.3 Energibesparelser og kostnadsrammer.....	21
3 Systemløsning med fraluftsvarmeveksler og forvarming	23
3.1 Varmegjennomgangstall for varmeoverføring i varmeveksleren.....	24
3.2 Forvarming av luften ved hjelp av et jordrør.....	26
3.2.1 Jordrøret i grunnen utenfor boligen.....	26
3.2.2 Uisolert jordrør under gulvet i boligen.....	28
3.2.3 Temperaturforhold i grunnen under boligen.....	31
3.2.4 Energi- og effektilførsel fra jordrøret utenfor og under boligen.....	34
3.3 Varveksler under hus med og uten eksternt jordrør.....	37
4 Dimensjonering	38
4.1 Dimensjonering av jordrøret i grunnen utenfor boligen.....	38
4.2 Dimensjonering av jordrøret under gulvet.....	40
4.3 Dimensjonering av varmeveksleren.....	40
4.4 Varmetap fra isolasjonskassen til grunnen.....	44
5 Temperaturforhold og systemvirkningsgrad under fyringssesongen	46
5.1 Varveksler med utvendig jordrør.....	46
5.2 Varveksler med utvendig og innvendig jordrør.....	49
5.3 Temperaturforhold under sommerforhold.....	51
6 Installasjoner i boligen	53
6.1 Luftfilter.....	55
7 Driftsforhold	55
7.1 Rengjøring av tilluftsøret.....	56
7.2 Hygieniske forhold.....	56
8 Kostnader	56
8.1 Varveksler med jordrør under og utenfor boligen.....	57
8.2 Varveksleren som en del av gulv- og ringmursisolasjonen.....	58
8.3 Installasjoner i boligen.....	59
9 Referanser	60
Bilag 1 Varmetap fra gulv på grunnen når varmeveksleren er plassert under gulvet og inngår som en del av gulvisolasjonen	

1917

...

...

...

...

...

...

...

...

...

FORORD

Utvikling av et energi- og kostnadseffektivt ventilasjonsanlegg inngår som et vesentlig element i NFR-prosjektet BA 30541 "Rimelige lavenergiboliger" for å nå målsettingen om et godt inn klima og lavt energibehov. I de prinsippene som generelt er lagt til grunn for å utvikle rimelige lavenergiboliger, er det forutsatt at energisparetiltak integreres i bygningskonstruksjonen på en slik måte at tilleggskostnadene blir lavest mulig. Energisparetiltak må derfor inngå i planleggingsfasen og ikke være noe som kommer i tillegg etter at boligen er prosjektert. Dette er spesielt viktig om man ønsker et ventilasjonsanlegg med mulighet for varmegjenvinning. Normalt representerer et slikt anlegg den største enkeltinvesteringen i et lavenergiboligkonsept. Samtidig vil dette energisparetiltaket kunne gi den største potensielle energigevinsten. Målet er, inkludert direkte energibesparelser, å redusere boligens årskostnader.

Både anleggskostnader og funksjonelle egenskaper for ventilasjonsanlegget er direkte knyttet til bygningstekniske forhold. I mindre husbankboliger har man knappe arealressurser til rådighet for plassering av aggregater og kanaler. Dette fører ofte til at deler av anlegget blir plassert utenfor klimaskjermen og gjerne på vanskelig tilgjengelige steder. Undersøkelser viser da også at det ikke er uvanlig at anleggene har betydelige feil og mangler og ikke oppfyller forventede funksjons- og lønnsomhetskrav.

En vesentlig forutsetning for at ventilasjonsanleggene skal fungere tilfredsstillende i en vanlig bolig er at de skal være rimelige, enkle å bruke, kreve et minimum av vedlikehold og ha stor driftssikkerhet. I tillegg kommer muligheter for behovsstyring og lavt støynivå. Disse forholdene er det viktig å ta hensyn til ved utvikling av nye ventilasjonssystemer.

Rapporten belyser alternative måter å utføre ventilasjonsanlegget på som et supplement til mer tradisjonelle løsninger, se Byggdetaljer A 552.345 "Varmevekslere i ventilasjonsanlegg for småhus". Felles for de systemløsningene som er presentert, er at varmeveksleren i nybygg plasseres under gulvkonstruksjonen. Når varmeveksleren inngår som en del av boligens gulv- og ringmursisolasjon, vil man få flere kostnadsbærere og samtidig oppnå en tilleggsfunksjon som går ut på å heve gulvtemperaturen og redusere varmetapet fra gulvet. Denne plasseringen vil også redusere arealbehovet for anlegget i boligen og gjøre det unødvendig å ha en avtrekkskanal over tak.

Rapporten viser løsninger med og uten bruk av et eksternt jordrør. I tillegg til å gi rene energigevinster har jordrøret en rekke tilleggsfunksjoner som totalt sett forenkler oppbyggingen og driften av anlegget.

I rapporten er det også vist til en annen type ventilasjonsaggregat basert på å utnytte naturlige drivkrefter (NFR - prosjekt BA 30540). Dette utviklingsarbeidet vil bli dokumentert i en egen NBI prosjektrapport.

Oslo, juni 1994
Per Gundersen

SAMMENDRAG

Systemoppbygging

På bakgrunn av den gjennomførte analysen har vi kommet fram til følgende alternative systemløsning for ventilasjonsanlegg i lavenergiboliger med varmegjenvinning, se fig. 6. Denne figuren viser en skjematisk oppbygging av ventilasjons- og forvarmingssystemet i boligen. Varmeveksleren for avtrekks- og tilluften er plassert under gulvet i boligen. De ventilasjonstekniske installasjonene i boligen tar derfor vesentlig mindre plass enn et anlegg med en intern varmeveksler. Samtidig er det ikke nødvendig med avtrekkskanaler over tak, noe som gir en enklere og sikrere takkonstruksjon. Varmeveksleren kan kobles sammen med et uisolert tilluftsrør (jordrør). Jordrøret kan ligge delvis under og utenfor ringmuren eller bare utenfor boligen, se fig. 3.2.2 a og fig. 3.3. Rapporten viser at man ved å bruke et jordrør oppnår flere tilleggsfunksjoner utover primærfunksjonen; å redusere energibehovet. For å redusere kostnadene til utvendig jordrør er det forutsatt at røret legges i fellesgrøft med andre tekniske anlegg eller i fyllinger som skal etableres på tomta. Jordrøret kan f.eks. legges sammen med isolerte VA-ledninger eller i egen grøft sammen med elkabelen. I ikke telefarlig grunn kan jordrøret også legges sammen med drensledningen utenfor deler av ringmuren, fig. 3.2.2 b. I skrånende terreng kan jordrøret legges under den fyllingen man ofte får på nedsiden av huset ved planering av tomta.

En løsning som kombinerer et utvendig og et innvendig jordrør kan gi flere fordeler. Det eksterne jordrøret ligger i jordmasser med stor varmekapasitet og sikrer dermed at luften som kommer inn under boligen ikke har for lav temperatur. Et eksternt jordrør er særlig effektivt i å dempe det temperaturfallet man får i inntaksluften i korte perioder med meget lave utelufttemperaturer. Dette er gunstig for å unngå økt varmetap fra gulvet og ev. frostproblemer hvis grunnen er telefarlig. For å utnytte en større del av varmen i jordmassene under gulvet, er jordrøret fordelt over fundamentplaten. Denne varmen tilføres delvis som varmetap fra gulvet i boligen og regenereres i sommerhalvåret på grunn av tredimensjonal varmestrøm fra omgivelsene og varmetilførsel via jordrøret. Ved å plassere deler av jordrøret under gulvet har man mulighet for å heve temperaturen på ventilasjonsluften over frysepunktet før luften kommer frem til varmeveksleren. Man kan da bruke en varmeveksler med lavere temperaturvirkningsgrad og samtidig opprettholde en høy systemvirkningsgrad. Løsningen er kostnadseffektiv fordi det er en eksponensiell sammenheng mellom varmevekslerens temperaturvirkningsgrad og heteflate, se fig. 4.3 b. En varmeveksler

med lavere temperaturvirkningsgrad kombinert med et eksternt jordrør gir større avkjøling av ventilasjonsluften på varme sommerdager.

Ved å la varmeveksleren inngå som en del av ringmursisolasjonen fig. 3.3, kan man også redusere isolasjonskostnadene til varmeveksleren. En slik plassering av varmeveksleren vil samtidig redusere varmetapet fra gulvet til omgivelsene, som er størst i en ytre randzone mot ringmuren. Uten tilleggskostnader kan man da øke lengden og dermed temperaturvirkningsgraden på varmeveksleren. Selv for mindre boliger med en grunnflate på 80 - 90 m² kan man oppnå lengder på varmeveksleren på min. 40 m. Dette gir en temperaturvirkningsgrad på varmeveksleren på 70 - 75 % uten bruk av jordrør. Ved å koble sammen denne varmeveksleren med et eksternt jordrør, kan man øke varmevekslerens temperaturvirkningsgrad betydelig, spesielt i perioder med lave utelufttemperaturer, se fig. 5.1 c. Økt temperaturvirkningsgrad i perioder med lave utelufttemperaturer er meget gunstig. Man unngår dermed uakseptabelt lave temperaturer på inntaksluften i boligen som igjen krever forvarming, se fig. 5.1 e. Løsningen vist på fig. 3.3 kan brukes uavhengig av om grunnen er telefarlig eller ikke. Ved å koble varmeveksleren sammen med et jordrør får man ikke problemer med frost. Man unngår også overtemperaturer på ventilasjonsluften under sommerforhold, se fig. 5.3 b.

Disse systemløsningene gjelder for nybygging. Hvis man ønsker å bruke tilsvarende prinsipløsninger i eksisterende bygg, kan både varmeveksler og jordrør legges i grunnen utenfor boligen, se fig. 3.

Varmeveksleren

Varmevekslerenheten består av en isolasjonskasse med et innvendig rør. Den varme fraluften tilføres kassen, strømmer i spalten mellom kasseveggen og utvendig overflate på røret og forlater kassen via en rist i ringmuren. Ved å bruke røret som en tilluftskanal, se fig. 3.3, har man fått en motstrøms varmeveksler. Av plasshensyn bør varmeveksleren fortrinnsvis plasseres under gulvet i boligen. Da reduserer man samtidig varmetapet fra isolasjonskassen til omgivelsene til et minimum. I eksisterende bygg kan varmevekslerenheten også legges i en jordgrøft utenfor boligen og da gjerne i en fellesgrøft med de øvrige tekniske anleggene.

Isolasjonskassen er den samme som brukes for grunne isolerte ledninger og er utført i ekstrudert polystyrenisolasjon. Ekstrudert polystyrenisolasjon har både god trykkstyrke og gode fuktegenskaper, og er derfor velegnet som konstruksjonsmateriale for en varmeveksler. Når varmeveksleren blir lagt under gulvet i boligen, blir den mekaniske belastningen på isolasjonskassen beskjedent. Samtidig reduseres grus/pukk mengden

innenfor ringmuren. Tilstrekkelig isolasjonstykkelse for en isolasjonskasse som ligger fritt under gulvet er 60 mm. Isolasjonskassen kan også inngå som en del av ringmursisolasjonen, ev. frostisolasjon under ringmuren i telefarlig grunn.

Innvendige dimensjoner på isolasjonskassen avhenger av dimensjonen på tilluftsrøret. Dimensjonen på tilluftsrøret vil igjen være avhengig av rørlengden. Hvis det brukes et korrugert kabelrør 200/180 mm må innvendig høyde og bredde på isolasjonskassen være 240×240 mm. For kortere rørstrekk, f.eks. uten bruk av et utvendig jordrør, er det tilstrekkelig med kabelrør 160/145 mm. Isolasjonskassen kan da være noe mindre, med en innvendig høyde og bredde på 200×200 mm. Når isolasjonskassen ligger innenfor ringmuren, kan man også vurdere å bruke en noe rimeligere isolasjonstype med mindre trykkstyrke. Isolasjonen må være fuktbestandig. Når en kasseside inngår som del av ringmursisolasjonen, bør isolasjonstykkelsen minst være 100 mm.

Hvis varmeveksleren legges i jordgrøfta utenfor huset, bør isolasjonstykkelsen være 80 mm med et 100 mm tykt lokk. Varmeveksleren vil da tåle både jordtrykk og trafikkklaster. Isolasjonskassen kan utføres med fals for å sikre bedre tetting i skjøtene. For å sikre ytterligere mot luftlekkasjer kan man bruke silikonlim i skjøtene. På grunn av lave lufthastigheter og dermed små trykkdifferanser, vil liming av skjøtene sannsynligvis ikke være nødvendig. I kassebunnen foretar man ingen spesiell tetting av skjøtene. Ev. kondensvann skal fritt kunne renne ut av kassen. Lengden på kasseelementene kan være opp til 2,5 m.

Tilluftsrør/jordrør

Som tilluftsrør kan man, avhengig av rørlengden, f.eks. bruke et korrugert PVC kabelrør med diameter 180/200 mm eller 160/145 mm. Disse rørene har et stort overflateareal, er rimelige, og leveres i kveil på 40 - 50 m. Rørene kan legges ut som en drensledning uten bend ved retningsendringer. Dette er gunstig med tanke på å oppnå lite trykktap. For å sikre best mulig varmeoverføring bør røret ikke bli liggende i direkte kontakt med kassebunnen. Det kan unngås ved å legge røret legges på avstandsklosser av isolasjon. Man kan avsette stusser på kabelrøret som gir mulighet for inspeksjon og rengjøring med børster og støvsuger. Luftinntaket bør fortrinnsvis plasseres på sydveggen og kan ev. utformes slik at man har mulighet for noe forvarming av tilluften ved solinnfall. Som et minimum skal det monteres et kanalfilter i luftinntaket, fig. 6.1.

Et 180/200 mm tilluftsrør vil ha en lufthastighet på 2,4 m/s når dimensjonerende luftmengde er ca. $220 \text{ m}^3/\text{h}$ (et luftskifte på 0,7 vekslinger i timen for referanseboligen).

Trykktapet i anlegget blir da relativt beskjedent, $< 0,8$ Pa/m. Siden anlegget er forutsatt å kjøre med en grunnventilasjon på $0,25$ l/s/m² eller 120 m³/h ($0,4$ luftvekslinger i timen for referanseboligen) halve døgnet, vil lufthastigheten bare bli $1,3$ m/s og trykktapet $< 0,2$ Pa/m. Ved å bruke relativt grove rørdimensjoner og dermed få lite trykktap, oppnår man både lavt støynivå og beskjeden vifteenergi.

Leggedybde for jordrøret

Optimal leggedybde for jordrøret avhenger av lokale forhold som materialer i grunnen og klima. Hvis det er mulig, bør jordrøret legges under frostdybden på stedet. Man kan da tilføre betydelige varmemengder til tilluften via jordrøret ved å utnytte latent frysevarme for vanninnholdet i omfyllingsmassene. Frostdybden på stedet er avhengig av jordmaterialene og påvirkes sterkt hvis jorda er snødekket. Man kan også redusere frostnedtrengningen ved å frostisolere. Imidlertid vil det noe nede i grunnen være en betydelig faseforskjell mellom lave lufttemperaturer og lave jordtemperaturer. Ekstrem frostdybde opptrer på sen vinteren og ikke i de periodene under vinteren der man statistisk sett har de laveste lufttemperaturene. Dette gjør at man også får en betydelig effekt av et relativt grunt jordrør. Hvis det skal anlegges en fylling på tomta, legger man røret under denne.

Installasjoner i boligen

Figur 6 viser installasjoner som er nødvendige i boligen i tilknytning til forvarmingssystemet. Det framgår her at disse installasjonene tar vesentlig mindre plass inne i boligen enn et anlegg med en intern varmeveksler.

Det enkleste er å bruke kanalvifter, en for avtrekk og en for tilluft, som plasseres direkte i rørene. Til tross for lave lufthastigheter bør det monteres lydfeller på kanalene for å sikre et absolutt støysvakt anlegg. Vifter og filtre blir med denne løsningen plassert i hovedetasjen umiddelbart over luftinntaket i installasjonssjakten mellom kjøkken og baderom. Dette er gunstig både med hensyn til tilgjengelighet, støy, arealbehov og fleksibilitet for anlegg av fordelingskanaler.

Viftene utføres med en enkel turtallsregulering av typen transformatorregulering e.l. som gir minimalt støy. Vifteturtalet kan f.eks. være styrt med et koblingsur med mulighet for manuell styring ved behov. For å kunne utbalansere anlegget monteres det et spjeld på avtrekksrøret.

For å oppnå høy utskillesesgrad for alle partikkelstørrelser kan inntaksluften passere et elektrostatfilter. Dette filteret gir også svært lite trykktap. Elektrostatfilteret kan

plasseres nær luftinntaket eller inne i boligen, der det kombineres med et grovfilter ved luftinntaket. På avtrekkskanalen, som normalt er vesentlig kortere enn tilluftskanalen, er det tilstrekkelig med et vanlig grovfilter.

Av fig. 6 fremgår det at det ikke er nødvendig å utstyre boligen med avtrekk over tak. Dette er en vesentlig kostnadsbesparelse, og gir en langt enklere og sikrere takkonstruksjon.

Drift

Anlegget med jordrør kan med fordel kjøres over hele året. Det kreves ingen omkobling for å hindre at luften trekkes gjennom varmeveksleren under sommerforhold slik det er nødvendig for andre ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning. På varme sommerdager kan man derimot få en kjøling av tilluften, se fig. 5.3 b. Om vinteren vil man ikke ha frostproblemer. Kondens som i perioder kan dannes utenpå tilluftsrøret, vil renne ut i kasseskjøtene uten å forårsake driftsproblemer. Da man samtidig har en meget høy temperaturvirkningsgrad ved lave lufttemperaturer, fig. 5.1 c, er det ikke behov for tilleggsvarme til ventilasjonsluften. Disse forhold er av stor betydning for å forenkle driften, som i det vesentlige begrenses til å skifte av filterelementer.

Hygieniske forhold

Fukt i tilførselrøret

For en varmeveksler med og uten bruk av jordrør vil det under vinterdrift ikke oppstå hygieniske problemer som følge av fukt i tilluftsrøret. Om sommeren vil bruk av et eksternt jordrør avkjøle tilluften, og man kan i perioder med høy lufttemperatur og luftfuktighet få noe kondens i jordrøret. Da utelufttemperaturen skifter relativt hurtig, blir ikke jordrøret permanent oppfuktet, pga. lengre perioder med effektiv uttørring av røret. Det er for øvrig også mulig å drenere ut ev. fuktighet som dannes i røret, eller unngå kondens ved å øke lufthastigheten slik at tilluften blir mindre avkjølt. Den fuktigheten man i perioder kan få i jordrøret, vil sannsynligvis ikke føre til begroing som kan skape hygieniske problemer. Det er ikke rapportert om hygieniske problemer med å bruke jordrør.

Luffilter

Som en minimumsløsning skal det monteres et grovfilter ved det utvendige luftinntaket, se fig. 6.1. Et alternativ kan være å bruke et elektrostatfilter med høy utskillesesgrad for alle partikkelstørrelser som samtidig har et lite trykktap. Elektrostatfiltret kan ev. plasseres inne i boligen og da kombineres med et grovfilter ved luftinntaket. På avtrekksrøret i boligen brukes et vanlig grovfilter.

Dimensjonering

For å oppnå lavenergi bør ventilasjonssystemet som helhet ha en systemvirkningsgrad på ca. 90 % sammenlignet med et tradisjonelt mekanisk anlegg med kontinuerlig drift. Dette kan f.eks. oppnås ved å behovsstyre ventilasjonen og ha et ventilasjonssystem med en temperaturvirkningsgrad på 70 - 75%, se fig. 2.1. Det er vist flere systemløsninger for ventilasjonsanlegget som kan gi denne temperaturvirkningsgraden. Man må her skille mellom varmevekslere med og uten bruk av jordrør, og med jordrør delvis utenfor og under boligen.

Varmeveksler med jordrør delvis under og utenfor boligen

Analysen viser at det i dette tilfellet er tilstrekkelig å utføre varmevekslerenheten med en temperaturvirkningsgrad på ca. 60 %. Denne virkningsgraden kan oppnås ved å ha en lengde på varmeveksleren (isolasjonskassen) på 20 - 25 m, fig. 4.3 b. Ved å bruke et eksternt og internt jordrør kan man da oppnå en samlet systemvirkningsgrad på over 70 %.

Når det gjelder jordrøret, vil lengden avhenge av stedlige forhold. Det kan her brukes en kombinasjon av et innvendig og et utvendig jordrør. Hensikten med det eksterne jordrøret er å ta støtbelastninger i form av relativt kortvarige perioder med meget lave utelufttemperaturer, og forvarme luften opp mot frysepunktet. Tilsvarende gjelder under sommerforhold der jordrøret effektivt demper høye utelufttemperaturer. For å oppnå disse effektene bør det utvendige jordrøret ha en minste lengde på 20 - 25 m, fig. 4.1. Lengden vil være avhengig av jordmasser og klimaforhold. Hvis man ønsker å få inntaket plassert på husveggen, kan jordrøret legges som en sløyfe i grunnen. Avstanden mellom rørene må da minst være en meter.

Jordrøret under boligen vil forvarme tilluften ytterligere før den kommer inn i varmeveksleren, fig. 5.2. Da varmekapasiteten for massene under gulvet normalt er mindre enn i grunnen utenfor boligen, er det en fordel med et noe mindre effektuttak fra disse massene. Varmeenergien som trekkes ut fra massene under gulvet, vil til en viss grad kompenseres ved varmetilførsel fra gulvet. Med et eksternt jordrør vil lufttemperaturen normalt ligge noe under frysepunktet når luften kommer inn i jordrøret under gulvet. Dette vil ikke skape problemer med frost i massene under gulvet. Man kan derfor også bruke et innvendig jordrør når boligen er plassert i telefarlig grunn. Jordrøret under boligen bør fordeles over gulvflaten og ha samme lengde som det eksterne jordrøret; 20 - 25 m, se fig. 3.2.2 a.

Ved å øke lengden på det eksterne jordrøret utover minimumslengdene, vil man ha en større sikkerhet for å nå den forventede forvarmingstemperaturen. Fordi jordrøret er relativt rimelig i innkjøp og enkelt å legge, bør lengden økes hvis det kan gjøres uten økte grøftkostnader. Ved å bruke grove rørdimensjoner (180/200 mm) som gir lave lufthastigheter (< 2.5 m/s), vil økt lengde bety relativt lite for trykktapene og dermed vifteenergien.

I mildt kystklima der boligen er plassert i ikke telefarlig grunn, kan det være tilstrekkelig å legge jordrør under boligen og kombinere røret med varmeveksleren, fig. 3.2.4 b. Røret bør fordeles over gulvflaten og ha en lengde på 30 - 40 m før det føres inn i varmeveksleren. Det er viktig at jordrøret ikke legges i nærheten av uisolerte vannrør den første strekningen etter luftinntaket.

Varmeveksler som del av gulv- og ringmursisolasjonen med og uten bruk av eksternt jordrør

Når varmeveksleren inngår som en del av ringmursisolasjonen, fig. 3.3, vil man i et vanlig husbankhus få en minste lengde på varmeveksleren på ca. 40 m. Temperaturvirkningsgraden blir da 70 - 75 %, fig. 4.3 b. Denne varmeveksleren kombinert med en behovsstyrt ventilasjon oppfyller dermed kriteriene for det energikravet vi har satt til en lavenergibolig. Også i dette tilfellet oppnår man flere fordeler ved å bruke et eksternt jordrør med en minste lengde på 20 - 25 m. Jordrøret forvarmer tilluften. Man unngår dermed å tilføre ventilasjonsluften tilleggsvarme ved lave utelufttemperaturer, man får ingen problemer med frost og unngår for høy temperatur på ventilasjonsluften under sommerforhold. Anlegget kan derfor kjøres kontinuerlig over hele året uten behov for omkoblinger.

Kostnader

Kostnadsrammer

Et ventilasjonsanlegg med mulighet for varmegjenvinning, representerer tradisjonelt den største enøk-investeringen i et energieffektivt boligkonsept. Riktig utført kan dette energisparetiltaket samtidig gi den største potensielle energigevinsten. Nå vil det imidlertid ikke være riktig å fokusere ensidig på energibesparelsen. Hvis man lykkes i å oppfylle de kriteriene som vi her har lagt til grunn for ventilasjonsanlegget i en lavenergibolig, får man totalt sett et meget godt inneklimate og dermed en betydelig standardheving i boligen.

Hvis man har en varmeveksler med temperaturvirkningsgrad 60 % og behovsstyrer ventilasjon etter de kriteriene som er beskrevet i rapporten, vil årlig energibesparelse for

referanseboligen ligge på hele 7 590 kWh. Denne energibesparelsen er den samme som om man oppnår med å bruke en varmeveksler med virkningsgrad på ca. 80 % ved kontinuerlig full drift av anlegget, fig. 2.1. Det er da ikke tatt hensyn til den reduksjonen i vifteenergien man oppnår ved å behovstyre ventilasjonsanlegget. Et mekanisk ventilasjonsanlegg med kontinuerlig full drift uten varmegjenvinning, er brukt som referanse for besparelsen. Sammenligningen viser at en enkel behovsstyring av ventilasjonsanlegget er meget lønnsom.

Ved å koble en varmeveksler med temperaturvirkningsgrad på 60 % sammen med et forvarmingssystem ved hjelp av et eksternt og internt jordrør, kan man f.eks. oppnå en samlet systemvirkningsgrad på ca. 70 %. Ved behovsstyring oppnår man med denne virkningsgraden samme energibesparelse som om det ble brukt en varmeveksler med virkningsgrad på ca. 90 % ved kontinuerlig full drift av anlegget. En slik løsning gir en årlig energibesparelse på 8 436 kWh. Med en energipris på 0,50 kr/kWh utgjør dette en årlig innsparing på kr 4 218,-.

Hvis man ønsker å få tilbake investeringen i ventilasjonsanlegget med varmegjenvinning i løpet av en fem års periode, kan man i dette tilfellet tåle en tilleggs kostnad, avhengig av sammenligningsgrunnlaget, på kr 10 000 — 18 000,-. Det er da forutsatt en internrente på 7,0 %.

Ventilasjonsanlegget med forvarming og varmeveksler består i prinsippet av et tilluftsrør som ligger i grunnen i en isolasjonskasse. Isolasjonskassen med et innvendig tilluftsrør utgjør selve varmegjenvinneren, mens jordrøret skal sørge for forvarming/avkjøling av tilluften. Både tilluftsrøret og varmevekslerenheten kan ligge utenfor og under gulvet i boligen. Det er derfor en rekke parametre som kan varieres for å oppnå en kostnadsmessig optimal løsning, uten at dette har avgjørende betydning for anleggets funksjon. Stedlige forhold vil derfor kunne påvirke valg av utførelse.

Varmevexsler med jordrør delvis under og utenfor boligen

En frittliggende isolasjonskasse med veggtykkelse 60 mm og innvendig bredde og høyde på 240 mm, har et forbruk av isolasjon på 0,072 m³/m. Med en pris på ekstrudert polystyren på ca. kr 1 200,- gir dette en materialpris på kr 86,40 pr. meter. Hvis vi antar en pris på ferdig lagt kasse på kr 130,- pr. meter, får vi følgende kostnad når det forutsettes en lengde på 25 m og prisen på pukk er satt til kr 120,- pr. m³:

Isolasjonskasse fratrukket redusert grus/pukk forbruk:

Isolasjonskasse: $25 \cdot 130 =$	kr 3 250,-
<u>Mindre grus/pukk: $0.13 \cdot 120 \cdot 25 =$</u>	<u>" 390,-</u>
<u>Differanse</u>	<u>kr 2 860,-</u>

Til jordrør kan man bruke et kabelrør 180/200 mm i PVC plast. Kabelrøret leveres i kveil på 40 m. Røret rulles ut i grunnen som et vanlig drenerør uten skjøter. Prisen på røret i innkjøp ligger på ca. 35 kr/m. For å få ned leggekostnadene for det eksterne jordrøret, er det viktig å bruke et felles grøftesystem eller legge røret under en fylling hvis det skal foretas en planering av tomte.

Innenfor ringmuren er det enkelt å legge jordrøret, som vil erstatte pukk/grusmaterialer. Hvis vi antar en gjennomsnittlig pris på kabelrøret ferdig lagt på kr 45,- og vi har en samlet rørlengde på 60 m, blir samlede systemkostnader:

Varmeveksler og jordrør:

60 m jordrør: $45,- \cdot 60 =$	kr 2 700,-
<u>25 m isolasjonskasse:</u>	<u>" 2 860,-</u>
<u>SUM</u>	<u>kr 5 560,-</u>

Varmeveksler som del av gulv- og ringmursisolasjonen

Varmetapet fra en gulv på grunnen konstruksjon er størst i en ytre sone langs ringmuren. Ved å forsterke isolasjonen i dette området får man en betydelig reduksjon i gulvets U-verdi som igjen gir høyere gulvtemperaturer. Hvis man lar isolasjonskassen inngå som en del av gulvets kantisolasjonen, oppnår man nettopp disse fordelene. Man kan da i prinsippet redusere tykkelsen på gulvisolasjonen og samtidig oppnå samme varmetap. I dette tilfellet vil den ene kassevingen utgjøre ringmursisolasjonen som bør ha en tykkelse på 100 mm. I telefarlig grunn vil kassebunnen inngå som en del av frostisolasjonen under ringmuren. Også her bør isolasjonen ha en tykkelse på 100 mm. Kasselokket kan inngå som en del av gulvisolasjonen. Hvis vi i dette tilfellet antar at reelle kostnader med å etablere isolasjonskassen kan reduseres med 30 - 40 % i forhold til en frittliggende isolasjonskasse, gir dette tilleggskostnader på ca. 75 kr pr. meter. Det er da tatt hensyn til reduksjon i pukkmengden innenfor ringmuren.

Varmeveksler og jordrør:

40 m isolasjonskasse $75,- \cdot 40 =$	kr 3 000,-
<u>60 m kabelrør (20 m i grunnen) $45,- \cdot 60 =$</u>	<u>" 2 700,-</u>
<u>SUM</u>	<u>kr 5 700,-</u>

Uten bruk av eksternt jordrør reduseres kostnadene til kr 4 800,-. Når det gjelder anleggskostnader, er de viste alternativene sammenlignbare. Man oppnår imidlertid en større energibesparelse på grunn av redusert varmetap fra gulvet ved å bruke ringmursløsningen. En forutsetning for ovennevnte kostnadsoverslag er at man rent praktisk finner en enkel måte å få samordnet ringmursisolasjonen og isolasjonsskassen på. Det vanlige er å montere ringmursisolasjonen etter at man har støpt ringmuren. Man kan imidlertid også tenke seg en løsning der isolasjonsskassen inngår som en del av ringmursforskalingen. Dette bør være gjenstand for en videre produktutvikling.

Installasjoner i boligen

Installasjonene i boligen i direkte tilknytning til ventilasjonsaggregatet består av vifter, filtre og lydfeller. For disse installasjonene kan vi anta følgende priser:

Installasjoner

Kanalvifter med mulighet for enkel turtallsstyring og tidsbryter	kr 1 500,-
Elektrostat- og grovfilter	" 2 000,-
<u>Lydfeller</u>	<u>" 1 000,-</u>
<u>SUM</u>	<u>kr 4 500,-</u>

Dette er for øvrig installasjoner som inngår i de fleste anlegg med balansert mekanisk ventilasjon.

Som det fremgår av fig. 6 vil anlegget med jordrør ikke kreve avtrekkshette over tak. En komplett avtrekkshette med isolerte kanaler og beslag inkludert bygningstekniske tiltak, koster ca. kr 4 000 - 5 000 dvs. kostnader i samme størrelsesorden som vifter filtre og lydfeller.

Hvis det skal brukes en tradisjonell platevarmeveksler bør denne plasseres innenfor klimaskjermen, se fig. 1.3. Dette krever at man avsetter min. 1,0 m² boligareal. I tillegg er det nødvendig med diverse bygningsmessige tiltak for å få bygd inn varmeveksleren slik at den gir enkel tilgang for inspeksjon og vedlikehold. Det må også legges opp muligheter for å avlede kondensvann. Varmeveksleren må videre utstyres med en forvarmerenhet for å unngå frost og lave inntakstemperaturer ved lave lufttemperaturer. Man kommer da hurtig opp i sekundærkostnader i tillegg til selve varmeveksleren på kr 5 000,- eller mer når man tar med reelle arealkostnader. Disse kostnadene vil ha samme størrelsesorden som kostnadene for jordrør og isolasjonsvarmeveksler.

Systemet med bruk av jordrør og isolasjonsvarmegjenvinner totalt sett bør med andre ord være meget konkurransedyktig i forhold til alternative tradisjonelle løsninger med varmegjenvinning. Riktig utført bør det også kostnadmessig kunne konkurrere med et enkelt mekanisk ventilasjonsanlegg uten varmegjenvinning.

For å få ned totalkostnadene for ventilasjonsanlegget er det viktig at det interne luftfordelingssystemet i boligen er så enkelt som mulig. Dette er spesielt ivaretatt i lavenergiboligen gjennom sentral innføring av ventilasjonsluften, og en kompakt kostnadseffektiv planløsning som gir meget korte kanalføringer, se fig. 1.3.

En absolutt forutsetning for at et anlegg skal virke etter forutsetningene, er enkle driftsforhold. Anlegget med jordrør tilfredsstiller disse forutsetningene og gir god komfort over hele året. Vedlikeholdet er begrenset til skifte av filterelementer. Rengjøring av kanaler kan nær elimineres ved fornuftig plassering av filterelementer.

En annen fordel med å bruke jordrør er at anlegget bare er bygd opp av enkle komponenter som er lett tilgjengelig, og som det ikke kreves spesialkompetanse for å montere. Dette kan gjøres av selvbyggere som en del av grunnarbeidene.

1 GRUNNLAG

Skal man opprettholde tilfredsstillende luftkvalitet i moderne, tette og godt isolerte boliger, kreves god tilgang på friskluft. Nødvendig ventilasjonsluftmengde vil være bestemt av materialvalg, renhold og aktiviteter i boligen. I forbindelse med energisimuleringer for en referanselavenergibolig er det valgt en dimensjonerende ventilasjon på 0,7 luftvekslinger i timen. Det er lagt vekt på å oppnå god kontroll med ev. forurensingskilder gjennom bevisst materialvalg, samtidig som det skal brukes installasjoner som letter renholdet.

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

God energieffektivitet forutsetter en behovsstyrt ventilasjon kombinert med balansert ventilasjon med en form for gjenvinning av varmen i ventilasjonsluften. Den enkleste og rimligste måten å imøtekomme ønsket om behovsstyrt ventilasjon på, er i tillegg til en effektiv utluftning ved å åpne vinduer, å bruke turtallsstyring av vifter. Ventilert må være enkle å regulere.

Skal man i tillegg oppnå god totaløkonomi, må anlegget være enkelt både i anlegg og drift.

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

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

I det valgte lavenergikonseptet er det lagt til grunn en form for balansert mekanisk ventilasjon med varmegjenvinning, se fig. 1.

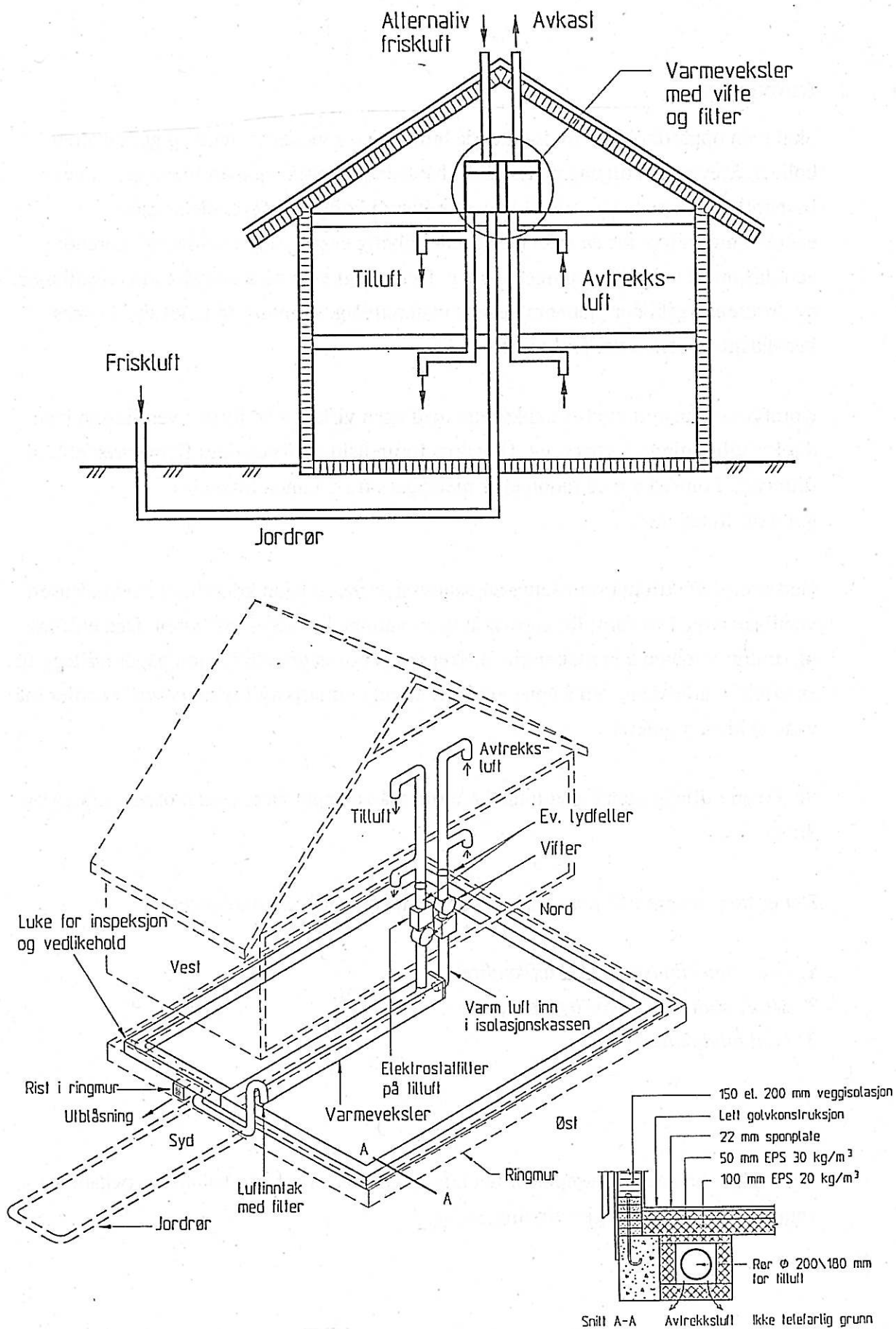


Fig. 1. Balansert mekanisk ventilasjon med varmegjenvinning. Konvensjonell og alternativ utførelse. Jordrør for ev. forvarming/avkjøling av ventilasjonsluften.

1.1 Overordnede kriterier for utforming av ventilasjonsanlegget

I utformingen av ventilasjonsanlegget bør man sørge for:

- *Lave lufthastigheter, som gir lite støy fra vifter, kanaler og ventiler og reduserer vifteenergien til et minimum.*
- *Energieffektiv og driftssikker ventilasjon*
Bruk energieffektive viftemotorer med høy virkningsgrad og turtallsstyring som grunnlag for behovsstyring av luftmengden. Vurder mulighetene for å forvarme tilluften ved bruk av jordrør for å redusere varmevekslerens heteflate og dermed arealbehov. Jordrøret vil også forenkle driften ved at man unngår problemer med frost og overtemperaturer.
- *God filtrering av tilluften*
Ta i bruk elektrostatfilter på tilluftssiden. Filtret har lavt trykkfall, høy utskillingsgrad for alle partikkelstørrelser og være enkelt og rimelig å vedlikeholde (f.eks. utskiftsbare filterelementer av papp).
- *Trekkfri tilførsel av friskluft*
Bruk friskluftsventiler basert på diffus tilførsel av friskluft i golvplan (fortrengningsventilasjon med høy ventilasjonseffektivitet) der dette er hensiktsmessig. Alle større soverom utføres med egen friskluftstilførsel.
- *Kostnadseffektivt ventilasjonsanlegg*
Legg til rette for økonomisk integrering av anlegget i boligen. Bruk løsninger som opptar minst mulig av boligens bruksareal, bruk fellessjakt for alle tekniske installasjoner som gir god tilgjengelighet og minst mulig kanaler. Velg enkle og rimlige komponenter og sørg for enkelt vedlikehold og renhold.

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

Da dagens ventilasjonsanlegg ikke uten videre oppfyller kriteriene ovenfor, vil vi her som ledd i utviklingen av en lavenergibolig bl.a. utnytte resultater fra NTNF-prosjektet

BA 30540 "Energieffektive ventilasjonsanlegg" i den grad disse er kommersielt tilgjengelige. I tillegg vil vi presentere andre enkle systemløsninger for ventilasjon og varmegjenvinning i en lavenergibolig. Figur 1.1 viser en prinsippskisse av et energieffektivt ventilasjonsaggregat for utnyttelse av naturlige drivkrefter som vind og oppdrift, kombinert med varmegjenvinning (se NTN-prosjektet BA 30540).

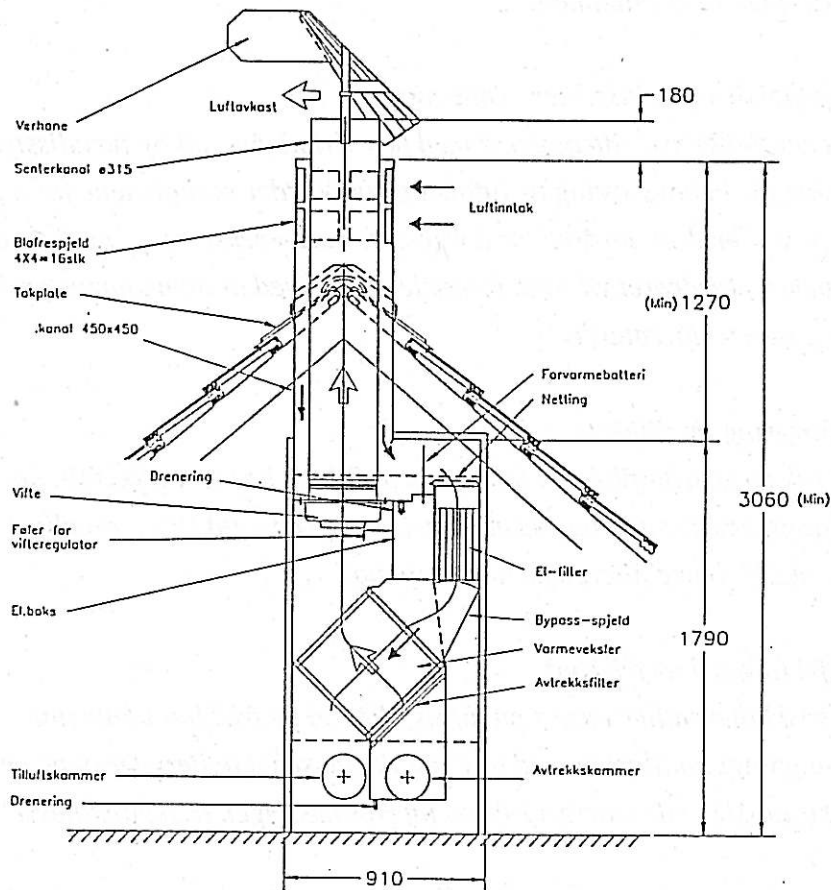


Fig. 1.1. Prinsippskisse av et energieffektivt ventilasjonsaggregat (små trykktap). Se NTN-prosjektet BA 30540.

1.2 Integrering av ventilasjonsanlegget i boligen

En betydelig del av kostnadene og ventilasjonsanleggets funksjonelle egenskaper er knyttet til kanaler og bygningsmessige forhold. Dette er et område som bør ha høy prioritet når det gjelder å utvikle lavenergiboligens planløsning, men som det samtidig er vanskelig å oppfylle tilfredsstillende innenfor meget stramme rammebetingelser og knappe areal- og kostnadsgrenser.

Ventilasjonsanlegget er et aktivt mekanisk system som nødvendigvis vil måtte kreve noe tilsyn. Det er derfor viktig at både installasjons- og bygningstekniske forhold legges

til rette slik at vedlikeholdet er enkelt å utføre. Slik tilrettelegging er en absolutt forutsetning for at anlegget på sikt skal ha en tilfredsstillende funksjon..

Hovedvekten i lavenergikonseptet er lagt på å oppnå et godt innemiljø og kostnadseffektivitet både når det gjelder anlegg og drift. En forutsetning for å få et kostnadseffektivt ventilasjonsanlegg med høy virkningsgrad, er at man i størst mulig grad kan unngå lange kanalføringer i boligen. Da fordelingskanaler og aggregater fortrinnsvis bør plasseres innenfor klimaskjermen, må anlegget være minst mulig arealkrevende. I planløsningen er det lagt stor vekt på å oppfylle disse vilkårene ved å bruke en sentralt plassert installasjonsskje.

1.3 Luftfordeling i referanseboligen

Kostnadmessig er det viktig å forenkle de ventilasjonstekniske installasjonene i boligen mest mulig uten at dette går på bekostning av anleggets funksjon.

I fig. 1.3 er det angitt interne luftveier i referanseboligen. Kanaler og ventiler er i dette tilfellet dimensjonert for spesielt små trykktap. Lite trykktap er generelt ønskelig for å eliminere støy og redusere vifteenergien til et minimum, men krever betydelige kanaltverrsnitt. Man bør derfor helst unngå å bruke kanaler eller gjøre disse så korte som mulig. Dette oppnås ved å plassere ventilasjonsaggregater og luftfordelingssystem sentralt i boligen.

Det er forutsatt brukt en type fortrenningsventilasjon med direkte frisklufttilførsel til gang i første og annen etasje og til alle store soverom. I soverom med egen frisklufttilførsel kan man også bruke en vanlig type omrøringsventilasjon. En felles tilførselskanal fører friskluft til soverom i vest i begge etasjer. Denne har dimensjonen 160 mmØ, og er den eneste kanalen i luftfordelingssystemet, idet den øvrige luftfordelingen foregår ved spalte under eller over dører eller ved overluftsventiler i lettvegger. I fig. 1.3 er det forutsatt at varmeveksler og filterenhet er plassert lett tilgjengelig i eget installasjonsrom/skap i annen etasje. Dette skapet utgjør en del av installasjonssjakten. Nødvendig tilsyn og filterskifte foretas fra baderommet, der ev. kondens fra varmeveksleren kan tilføres avløpsnett direkte. Som det fremgår av fig. 1.3, er ventilasjonsaggregatet relativt arealkrevende. Det er derfor viktig at det plasseres i tilknytning til en installasjonssjakt med andre tekniske anlegg. Som vi senere skal vise, er det mulig å plassere varmeveksleren under gulvet i boligen og dermed redusere arealbehovet i boligen. Vifter og filtre er da plassert i installasjonssjakten i første etasje med direkte tilgang fra baderommet. Man unngår da også å ha varmeveksler med vifter i direkte tilknytning til soverommet i annen etasje.

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

Hvis det skal anlegges et jordrør for forvarming av inntaksluften, bør røret ha en dimensjon på 200 mmØ for å holde lufthastigheten under 2,0 m/s. Dette er nødvendig for å oppnå et tilstrekkelig lavt trykkfall for systemløsningen med en avtrekksvifte og utnyttelse av naturlige drivkrefter. Ved bruk av jordrør har man også mulighet for kjøling på varme sommerdager.

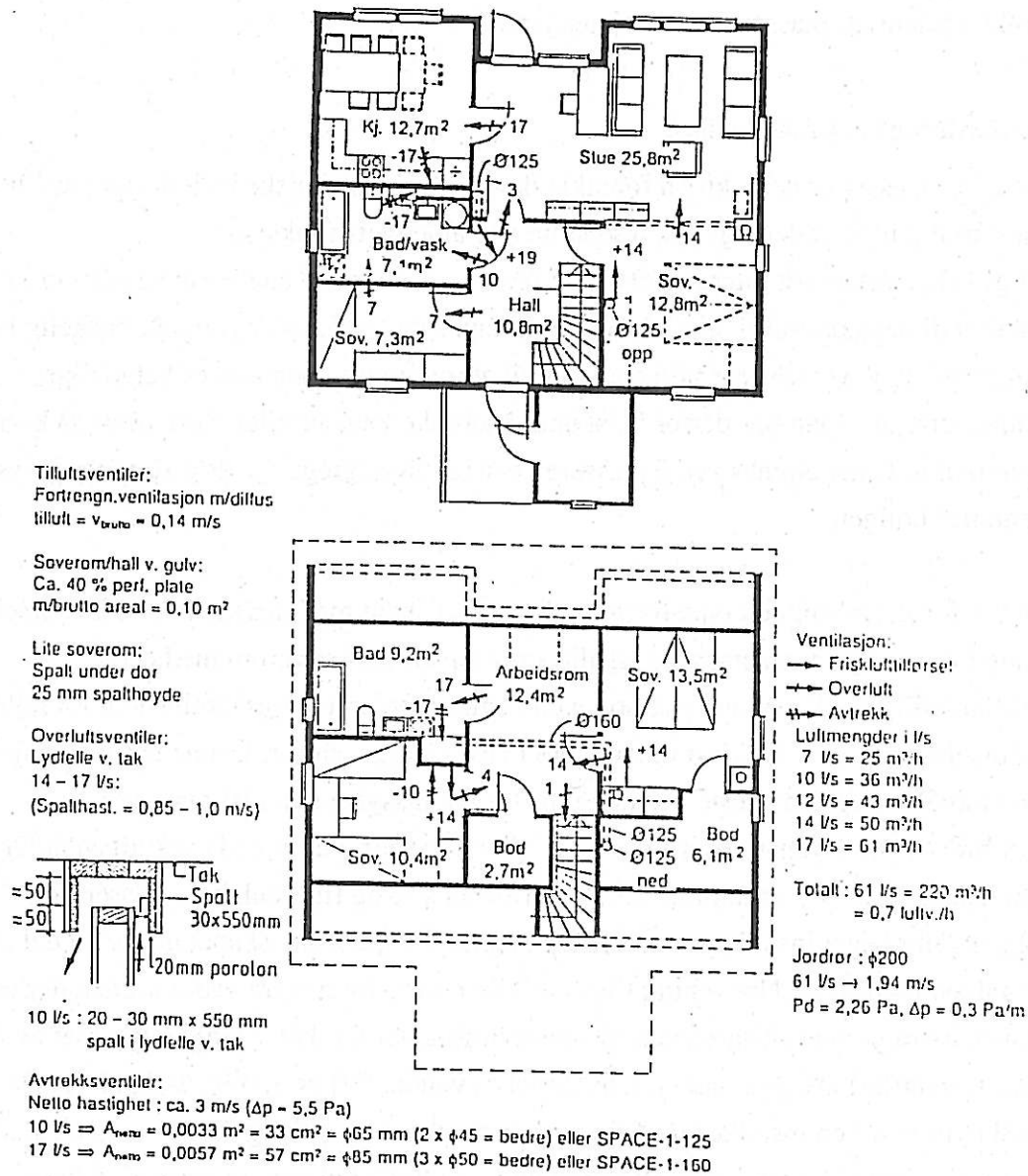


Fig. 1.3. Eksempel på aggregatplassering, interne luftveier og dimensjonerende luftmengder i en lavenergibolig. Kanal- og ventildimensjoner er dimensjonert under forutsetning av lave trykktap. (Siv. ing. Trygve Hestad, Byggforsk)

2 VENTILASJON MED VARMEGJENVINNING

I referanseberegningene for en lavenergibolig er det forutsatt en gjennomsnittlig ventilasjon på 0,7 luftvekslinger i timen av luft som tilføres via ventilasjonsanlegget. I tillegg kommer infiltrasjonen, som er $\geq 0,1$ luftvekslinger i timen. Samtidig er det å bruke en platevarmeveksler med en temperaturvirkningsgrad på 75 %. Denne virkningsgraden kan forbedres ytterligere f.eks. ved å øke varmevekslerens heteflate. Da det er en eksponensiell sammenheng mellom virkningsgrad og nødvendig heteflate, vil økt heteflate kreve større areal til varmeveksleren. Ved å bruke en platevarmeveksler vil man samtidig forsterke frostproblemet i varmeveksleren når virkningsgraden økes. Begge disse forholdene vil gi vesentlige ulemper og tilleggskostnader. Det er derfor et spørsmål om hvor høyt opp i virkningsgrad det er riktig å gå der samlede kostnader er tatt i betraktning. I tabell 2 er energibehovet i referanseboligen og dimensjonerende effekt beregnet som funksjon av varmevekslerens temperaturvirkningsgrad.

Tabell 2. Energiforbruk og dimensjonerende effekt avhengig av varmevekslerens temperaturvirkningsgrad

Temperaturvirkningsgrad, varmegjenvinner	Energiforbruk (kWh/m ² /år)	Dim. effekt (W)
0	162,8	7 086
0*	134,6	7 086
60%	119,0	5 231
60%*	104,8	5 231
65%	115,5	5 076
65%*	102,4	5 076
70%	112,1	4 922
70%*	100,0	4 922
75%	108,6	4 766
75%*	97,5	4 766
90%	98,4	4 303
90%*	90,4	4 302

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

2.1 Behovsstyrt ventilasjon

Ventilasjonsanlegget er forutsatt utstyrt med en vifte med turtallsregulering for å kunne behovsstyre ventilasjonen. Ventilasjonen bør imidlertid ikke komme under $0,25 \text{ l/sek/m}^2$ selv når ingen er til stede i boligen. Dette betyr en minste luftmengde i referanseboligen på ca. $120 \text{ m}^3/\text{h}$, som svarer til ca. 0,4 luftvekslinger i timen. Med denne grunnventilasjonen fjernes uheldig fukt og avgassing fra bygningsmaterialer og inventar som alltid vil være til stede i en bolig. I tabell 2 er det også foretatt energibehovsberegninger. Beregningene forutsetter at man i gjennomsnitt kjører med 0,4 luftvekslinger i timen over halve døgnet og ellers med 0,7 luftvekslinger i timen. Dette luftskifteforløpet er brukt for å simulere behovsstyring av ventilasjonen. I tillegg til grunnventilasjonen som tilføres fra ventilasjonsanlegget, kommer infiltrasjonsluftmengden. Den er mer variabel, men er i gjennomsnitt $\geq 50 \text{ m}^3/\text{h}$.

Verdiene i tabell 2 er inntegnet i diagrammet fig. 2.1. Det fremgår her at hvis man bruker en platevarmeveksler med temperaturvirkningsgrad på 60 % og behovsstyrer ventilasjon etter angitte kriterier, har man et samlet energibehov i lavenergiboligen på ca. $105 \text{ W/m}^2/\text{år}$. Skal man oppnå tilsvarende energireduksjon ved kontinuerlig full drift av ventilasjonsanlegget, må man ha en varmeveksler med en virkningsgrad på over 80 %, se fig. 2.1.

I tillegg vil man ved å bruke behovsstyrt ventilasjon få en vesentlig reduksjon i vifteenergien. Dette viser at det er flere måter å redusere ventilasjonstapet på uten at det går på bekostning av et godt innneklima.

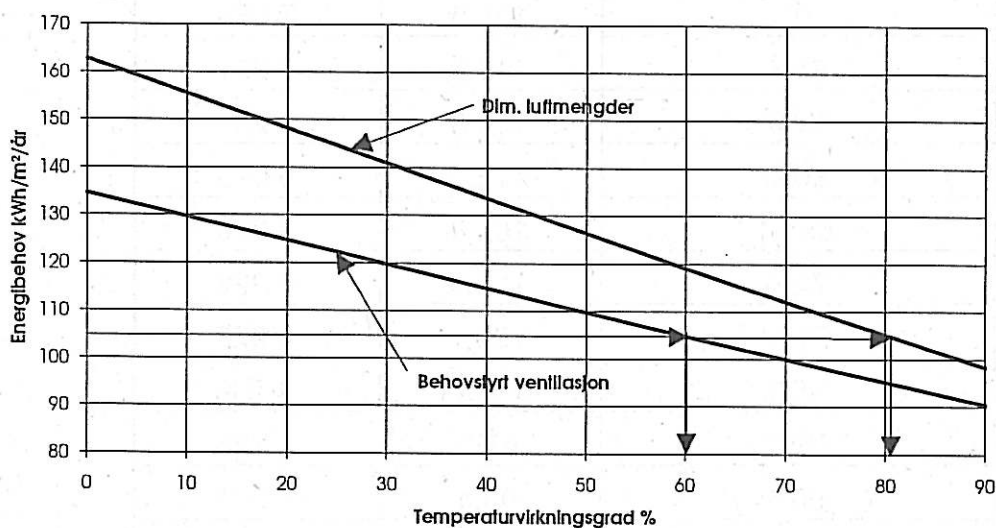


Fig. 2.1 Sammenheng mellom referanseboligens varmebehov og varmegjenvinnerens temperaturvirkningsgrad med og uten behovsstyring av ventilasjonen.

2.2 Varmeveksleren

Hvis varmeveksleren skal ha et lite trykkfall og samtidig høy virkningsgrad, vil den kreve relativt mye areal. Da varmeveksleren bør plasseres innenfor klimaskjermen, betyr dette tap av boligareal i en ellers meget kompakt husbankbolig.

Ventilasjonskonseptet med bare en avtrekksvifte og utnyttelse av naturlige drivkrefter krever store kanaltverrsnitt, og er basert på et undertrykk i boligen som igjen forutsetter en absolutt lufttett bolig.

Et annet generelt problem, spesielt for platevarmevekslere med høy virkningsgrad er ising når utelufttemperaturen faller under ca. $-7,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ising kan unngås på forskjellige måter som alle har det felles at varmevekslerens virkningsgrad reduseres. Reduksjonen vil være avhengig av klimaforholdene. Den mest effektive metoden å forhindre ising på er å forvarme tilluften. En sørger da for at tilluften ikke får lavere temperatur enn $-5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En metode å forvarme luften på uten tilskudd av kjøpt energi er å bruke jordrør. Spørsmålet er da om man kan kombinere jordforvarming og varmeveksling i en systemløsning som gjør det mulig å forenkle nødvendige installasjoner inne i boligen. En måte å oppnå kostnadseffektive ventilasjonsløsninger er nettopp å kompensere for tilleggskostnader ved å forenkle de bygningsmessige tiltakene. Slik forenkling bør være mulig ved å finne en alternativ plassering av varmeveksleren som frigjør verdifullt areal i boligen. Man kan også velge alternativ plassering av til- og fraluftsluftkanaler som gjør det unødvendig med en kostbar kanalføring gjennom taket med bruk av takhette. Ved å frigjøre seg fra forutsetningen om å utnytte naturlige drivkrefter, kan man også gå noe ned på kanaldimensjonene. Når anlegget baseres på behovsstyrt ventilasjon, vil det totalt sett ikke bety vesentlig økning i vifteenergien. Lav vifteenergi forutsetter bruk av viftemotorer med høy virkningsgrad.

2.3 Energibesparelser og kostnadsrammer

Som nevnt tidligere, er det ventilasjonsanlegget med mulighet for varmegjenvinning, som tradisjonelt representerer den største enøk-investeringen i et energieffektivt boligkonsept. Riktig utført gir et slikt anlegg, som separat energisparetiltak, den største potensielle energigevinsten. Nå vil det imidlertid ikke være riktig ensidig å fokusere oppmerksomheten på energibesparelsen. Hvis man lykkes i å oppfylle de kriteriene som vi her har lagt til grunn for ventilasjonsanlegget i en lavenergibolig, vil man totalt sett få et meget godt inneklima og dermed heve standarden i boligen betydelig.

Med en varmeveksler med temperaturvirkningsgrad på 60 % og en enkel behovsstyrt ventilasjon etter angitte kriterier, vil årlig energibesparelse for referanseboligen være hele 7 590 kWh. Med en energipris på 0,50 kr/kWh utgjør dette en årlig besparelse på kr 3 800,-. Hvis man kjører kontinuerlig med full drift av anlegget, må man bruke en varmeveksler med virkningsgrad på ca. 80 % for å oppnå samme besparelse, fig. 2.1. Som referanse er det brukt et mekanisk ventilasjonsanlegg med kontinuerlig full drift uten varmegjenvinning. Hvis man også for dette anlegget behovsstyrer ventilasjonen, vil energibesparelsen reduseres til 3 904 kWh eller kr 1 952,-. Enkel behovsstyring av ventilasjonsanlegget er derfor meget lønnsomt.

Ved å koble sammen en varmeveksler med temperaturvirkningsgrad 60 % med et forvarmingsystem ved hjelp av et eksternt og internt jordrør, kan man f.eks. oppnå en samlet systemvirkningsgrad på ca. 70 %. Ved behovsstyring svarer dette til en varmeveksler med virkningsgrad på ca. 90 % ved kontinuerlig full drift. Dette gir en årlig energibesparelse på 8 436 kWh eller kr 4 218,- med en energipris på 0,50 kr/kWh.

Ønsker man å få tilbake investeringen i ventilasjonsanlegget med varmegjenvinning i løpet av en fem års periode, kan man i dette tilfellet tåle en tilleggs kostnad, avhengig av sammenligningsgrunnlaget, på kr 10 000 — 18 000,-. Det er da forutsatt en internrente på 7,0 %.

Som vi senere skal vise, er det mulig å utvikle ventilasjonsanlegg med meget høy systemvirkningsgrad til tross for at selve varmevekslerenheten bare har begrenset temperaturvirkningsgrad.

Uansett om man bruker varmegjenvinning eller ikke, er det meget lønnsomt å investere i en turtallsregulert vifte. Viften kan gjøres meget enkel med to faste turtall, eller med mulighet for trinnvis variasjon mellom et dimensjonerende turtall og en minimumsverdi som tilfredsstiller boligens behov for grunnventilasjon.

I en bolig med husbankstandard med knappe arealgrenser er det viktig at ventilasjonstekniske installasjoner i boligen opptar minst mulig plass. Tilsvarende bør anlegget være så enkelt og driftssikkert som mulig og bør kunne kjøres med et minimum av tilsyn og vedlikehold.

3 SYSTEMLØSNING MED FRALUFTSVARMEVEKSLER OG FORVARMING

Figur 3 viser en prinsipløsning med en kombinert forvarmer og fraluftsvarmeveksler. Her er både varmevekslerenheten og jordrøret plassert i grunnen utenfor boligen. Denne løsningen kan derfor også brukes i eksisterende bebyggelse. Varmeveksleren består av en isolasjonskasse med et innvendig rør. Avtrekksluften tilføres isolasjonskassen og strømmer mellom denne og det innvendige tilluftsrøret.

For å unngå å grave en egen grøft for varmeveksleren kan man f.eks. bruke fellesgrøften for VA-ledninger og kabler. Isolasjonen som er brukt i tilknytning til varmeveksleren, kan inngå som en del av VA-isolasjonen, som dermed kan reduseres. Som friskluftsrør kan man f.eks. bruke et korrugert kabelrør 180/200 mm. Kabelrøret som er i PVC materiale med en godstykkelse på ca. 2,0 mm, har et overflateareal på ca. 0,85 m² pr. meter. Isolasjonskassen er utført i ekstrudert polystyren. Kasen kan legges med en minimum overdekning på 500 mm. Som regel er det en fordel å legge kassen noe dypere for å redusere varmetapet til omgivelsene og kunne nyttiggjøre mer jordvarme.

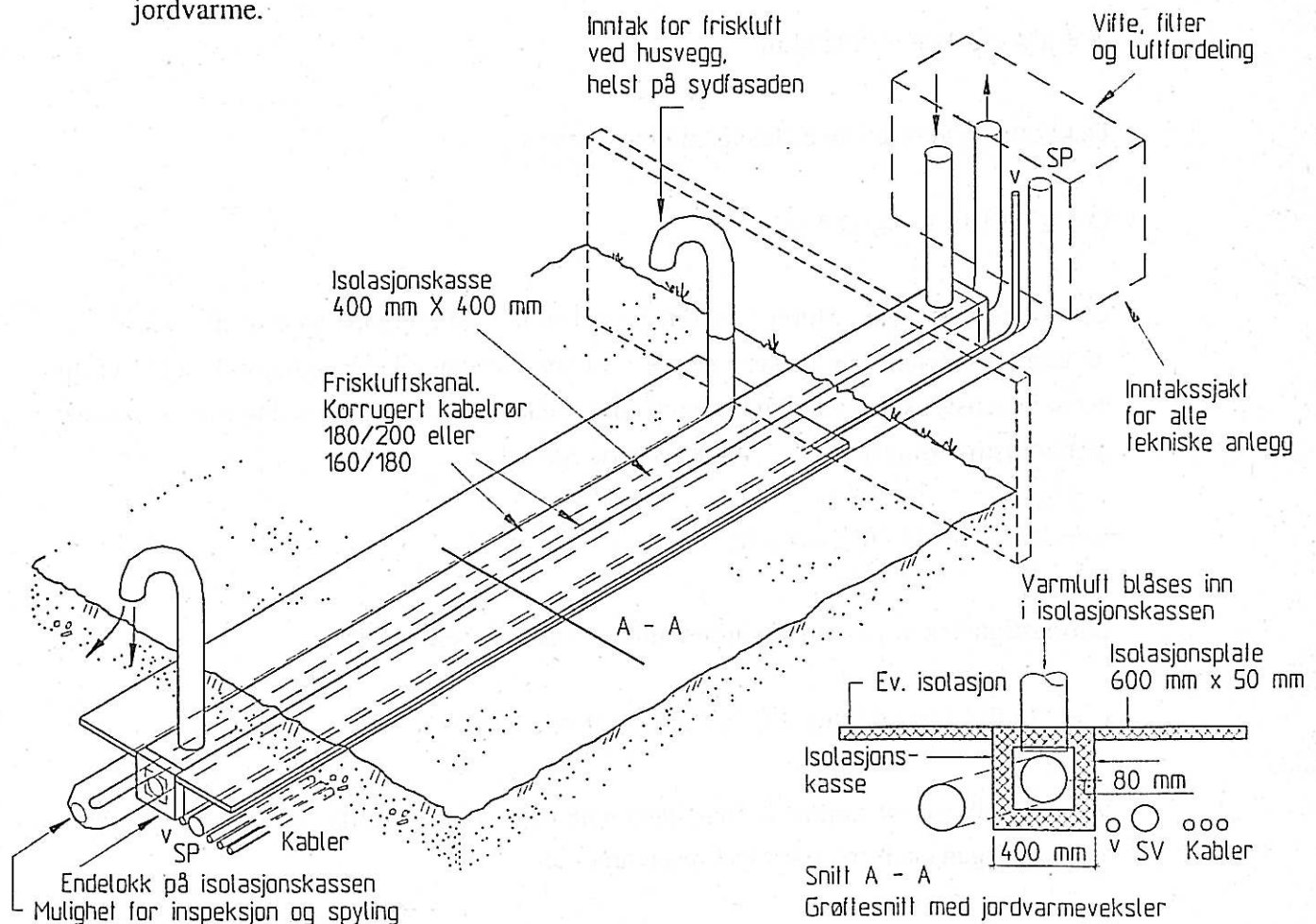


Fig. 3. Prinsippskisse. Kombinert forvarmer og fraluftsvarmeveksler

3.1 Varmegjennomgangstall for varmeoverføring i varmeveksleren

Med utgangspunkt i referanselavenergiboligen og 0,7 luftvekslinger i timen, er dimensjonerende luftmengde ca. 221 m³/h. Minimumsluftmengden når ingen er til stede i boligen, er satt til ca. 120 m³/h som svarer til 0,4 luftvekslinger i timen. Dette gir en gjennomsnittlig luftmengde Q på ca. 174 m³/h eller 0,55 luftvekslinger i timen.

Med en minste rørdiameter på 180 mm vil midlere lufthastighet v_i i røret være:

$$v_i = Q/A = \frac{174 \cdot 4}{3\,600 \cdot \pi \cdot (0,18)^2} = 1,9 \text{ m/s}$$

Dimensjonerende lufthastighet er 2,4 m/s, med en minste hastighet på 1,3 m/s.

Minste gjennomstrømningsareal for røret A er:

$$A = \pi/4 \cdot (0,18)^2 = 0,0254 \text{ m}^2$$

Det korrugerte rørets overflateareal O pr. meter er:

$$O \approx \pi \cdot 0,18 \cdot 1,5 = 0,85 \text{ m}^2$$

Isolasjonskassen kan utføres kvadratisk med en utvendig bredde på 400 mm. For å redusere varmetapet fra isolasjonskassen til omgivelsene til et minimum er det forutsatt en isolasjonstykkelse på 80 mm. Innvendig bredde og høyde blir da 240 mm og minste gjennomstrømningsareal mellom kassen og røret A_1 :

$$A_1 = (0,24)^2 - \pi/4 \cdot (0,2)^2 = 0,026 \text{ m}^2$$

Lufthastigheten v_u på uttrekkluftten utenfor friskluftsøret er da:

$$v_u = 174/(3\,600 \cdot 0,026) = 1,86 \text{ m/s} \approx 1,9 \text{ m/s}$$

Vi har da tilnærmet samme lufthastighet inne i og utenfor ventilasjonsøret. Innvendig varmeovergangstall α_i i røret kan bestemmes av:

$$Nu = \frac{\alpha_i \cdot d_i}{\lambda} = 0,024 \cdot (Re)^{0,8} \cdot (Pr)^{0,37} \quad (1)$$

$$Re = \frac{v_i \cdot d_i}{\nu} = \frac{1,9 \cdot 0,18}{1,2 \cdot 10^{-5}} = 2,85 \cdot 10^4 \text{ (Turbulent strømning)}$$

$$Pr = 0,70 \text{ (Luft ved } 10 \text{ }^\circ\text{C)}$$

Av (1) bestemmes et gjennomsnittlig innvendig varmeovergangstall når varmeledningsevnen λ for luft ved $10 \text{ }^\circ\text{C}$ settes lik $0,024 \text{ W/mK}$.

$$\alpha_i = \underline{10,3 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

Da lufthastigheten omtrent er den samme i og utenfor røret vil det utvendige varmeovergangstallet ligge i samme størrelsesorden som det innvendige:

$$\alpha_y = \underline{10,3 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

Ved dimensjonerende luftmengder vil $\alpha_i = \alpha_y = \underline{12,4 \text{ W/m}^2\text{K}}$ og tilsvarende ved minimum ventilasjon $\alpha_i = \alpha_y = \underline{7,6 \text{ W/m}^2\text{K}}$.

Det gjennomsnittlige varmegjennomgangstallet k ($\text{W/m}^2\text{K}$) for varmeoverføring fra avtrekksluften til inntaksluften kan tilnærmet bestemmes av (2). På grunn av liten godstykkelse representerer rørveggen liten varmemotstand. Varmeledningsevnen for det korrugerte PVC røret $\lambda_{\text{rør}} = 0,15 \text{ W/mK}$ og godstykkelsen er ca. 2 mm.

$$k \approx 1 / \left(\frac{1}{\alpha_y} + \frac{\delta_{\text{rør}}}{\lambda_{\text{rør}}} + \frac{1}{\alpha_i} \right) \quad (2)$$

$$\underline{k = 4,8 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ eller pr. meter rør. } k = 4,8 \cdot 0,85 = 4,1 \text{ W/mK}}$$

Varmegjennomgangstallet ved dimensjonerende luftmengder er $\underline{5,7 \text{ W/mK}}$ og tilsvarende ved min. luftmengder $\underline{3,6 \text{ W/mK}}$.

Fordi strømningsforholdene inne i det korrugerte ventilasjonskanalen er spesielle, bør ovennevnte varmegjennomgangstall kontrollmåles i laboratoriet. Man kan da også fastlegge optimale strømningshastigheter.

3.2 Forvarming av luften ved hjelp av et jordrør

3.2.1 Jordrøret i grunnen utenfor boligen

For å redusere lengden på varmeveksleren er det en fordel at tilluften forvarmes før den når varmeveksleren. Forvarmingen kan foregå ved å la luften passere gjennom et jordrør. Hvilken temperatur man kan forvente på tilluften etter at denne har passert jordrøret, er bl.a. avhengig av hvor mye varme som kan trekkes ut av grunnen. Dette bestemmes av forhold som:

Klimaforhold (Snødekke, utelufttemperaturer)

Jordtemperaturer

Grøftedyp

Omfillingsmasser

Luftmengder

Rørdimensjoner

En avgjørende faktor er jordtemperaturen på rørets nivå. Rent generelt bør jordrøret ligge under den aktuelle frostgrensen på stedet. Frostgrensen avhenger av klima og grunnmaterialer og kan påvirkes ved å legge røret i snødekket mark og bruke markisolasjon, se fig. 3. Ved å legge jordrøret i en fellesgrøft med grunne VA-ledninger, vil også rørisolasjonen påvirke jordtemperaturen. Under vinterforhold vil jordtemperaturen rundt jordrøret kunne falle under 0 °C i området der luften trekkes inn med utelufttemperaturen. For å forhindre telehiv bør røret her fortrinnsvis legges i ikke telefarlige masser. Ved å legge noe isolasjon over røret får en mer begrenset innfrysningssone rundt røret. Faren for skadelig telehiv er derfor redusert selv om jordtemperaturen rundt røret faller under 0 °C.

Ved å bruke fuktige omfillingsmasser rundt ventilasjonsrøret, f.eks. leire, silt, blandingsjord etc., vil vanninnholdet i jordmassene tjene som et varmemagasin der vannet først må fryse ut før temperaturen faller under frysepunktet. Fuktige jordmasser har også som regel en betydelig høyere varmeledningsevne i frosset tilstand. Det betyr at jordvarmen i større jordmasser rundt røret kan utnyttes. Jordtemperaturene rundt røret kan da ligge nær frysepunktet og holde seg på dette nivået over store deler av vinterhalvåret. Dette vil imidlertid kunne føre til en langsommere oppvarming av jordmassene når luften kommer inn med temperaturer over frysepunktet. Man kan da få noe lavere innblåsningstemperatur i perioder om våren med skiftende temperaturer over døgnet. Det har sannsynligvis mindre betydning for boligens energibehov, da man om våren med lav solhøyde ofte har et kjølebehov .

Man kan også bruke sandmasser rundt røret. Sand har relativt god varmeledningsevne (spesielt sand med et høyt kvartsinnehold), er ikke telefarlig, og har et naturlig fuktinnhold på 8 - 10 vektprosent.

I områder med mildt klima med større skiftninger i temperaturforholdene om vinteren, kan det være en fordel å bruke omfyllingsmasser med mindre varmekapasitet. Omfyllingsmassene kan f.eks. være finpukk, som ikke kan holde på fuktighet av betydning (1 - 2 vektprosent). I perioder med høye døgnmiddeltemperaturer har man da mulighet for å oppnå temperaturer betydelig over frysepunktet. Ved vår og høst med lave nattemperaturer og høye dagtemperaturer, får man varmet opp jordmassene hurtigere hvis de har mindre varmekapasitet.

Ved å plassere luftinntaket på sydfasaden vil man i perioder med solinnfall kunne forvarme tilluften. Man kan f.eks. utnytte solinnstrålingen som vil varme opp sydfasaden på huset. Luftinntaket bør da utformes slik at dette er mulig.

Hvis fellesgrøfta går på nordsiden av huset, kan man la ventilasjonsrøret passere under boligen, se fig. 3.2.1. Man kan da utnytte noe av varmetapet fra gulvet og gjøre jordrøret kortere og mer effektivt. Samtidig blir avkjølingen av de utvendige jordmassene mindre, og man får et mindre varmetregt system. Eventuell isdannelse rundt røret vil dermed kunne tines opp hurtigere slik at man får bedre utnyttelse av perioder med lufttemperaturer over 0 °C. På grunn av lave lufttemperaturer i jordrøret må det ikke legges i umiddelbar nærhet av en uisolert vannledning. Som vi senere skal se, er det som regel mer hensiktssmessig å legge jordrøret under boligen etter at det først har passert i grunnen utenfor boligen.

Optimal (teknisk og økonomisk) leggedybde for røret avhenger av lokale forhold. I snødekte områder med løsmasser der det er relativt rimelig å grave, kan røret f.eks. legges i en dybde på min. 1,5 m. Samme minstedybde må også brukes i kaldere strøk der de øvre jordmassene blir mer avkjølt. For fellesgrøfter i fjellterreng er det VA-ledningene som bestemmer leggedybden. Det vanlige er å legge VA-ledningene i såkalt frostsikker dybde. Grøftedybden er her ofte på 2,0 m eller mer. Med et grunt isolert ledningsnett vil grøftedybden ligge på ca. 0,8 - 1,0 m for å unngå fjellsprengning. Optimal leggedybde for jordrøret, er for øvrig avhengig av forhold som må undersøkes nøyere med ytterligere beregninger og temperaturmålinger av utførte anlegg.

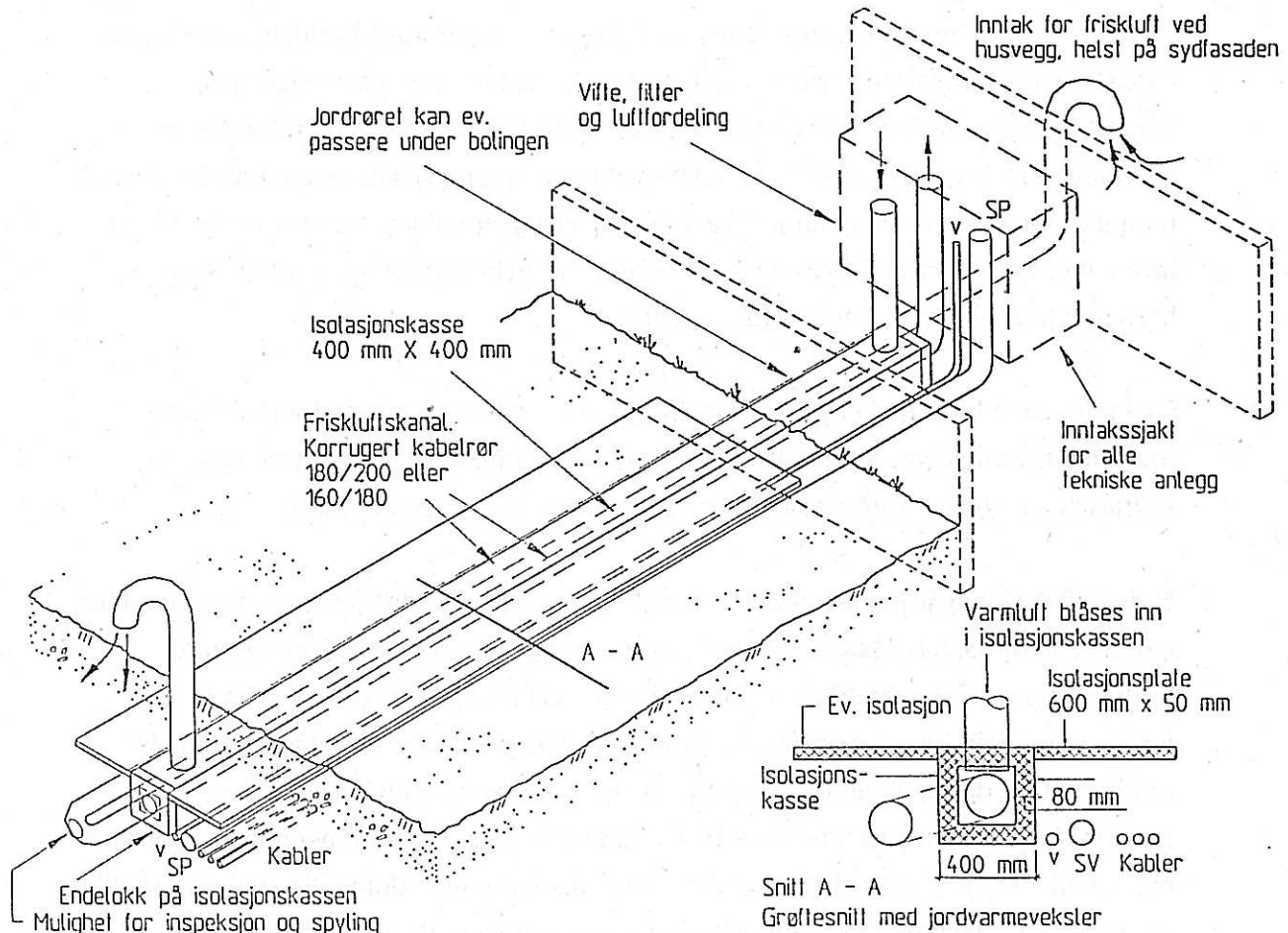


Fig. 3.2.1. Jordrøret passerer under boligen før dette legges utenfor ringmuren.

3.2.2 Uisolert jordrør under gulvet i boligen

Generelt kan det være en fordel å legge et jordrør under gulvet i boligen. Man kan da utnytte varme som avgis fra gulvet, og har mulighet for å heve forvarmings-temperaturen over frysepunktet før luften kommer inn i varmeveksleren. Høyere forvarmings-temperatur kan oppnås ved å forlenge jordrøret under gulvet i boligen etter at røret først har passert en utvendig jordgrøft, se fig 3.2.2 a. Man unngår dermed å trekke inn luft med ekstremt lave temperaturer under gulvkonstruksjonen. Lave temperaturer her kan skape problemer hvis grunnen er spesielt telefarlig, og vil øke varmetapet fra gulvet. Ved å la luften først passere jordrøret utenfor ringmuren, kan man hindre overtemperaturer under sommerforhold med høye lufttemperaturer.

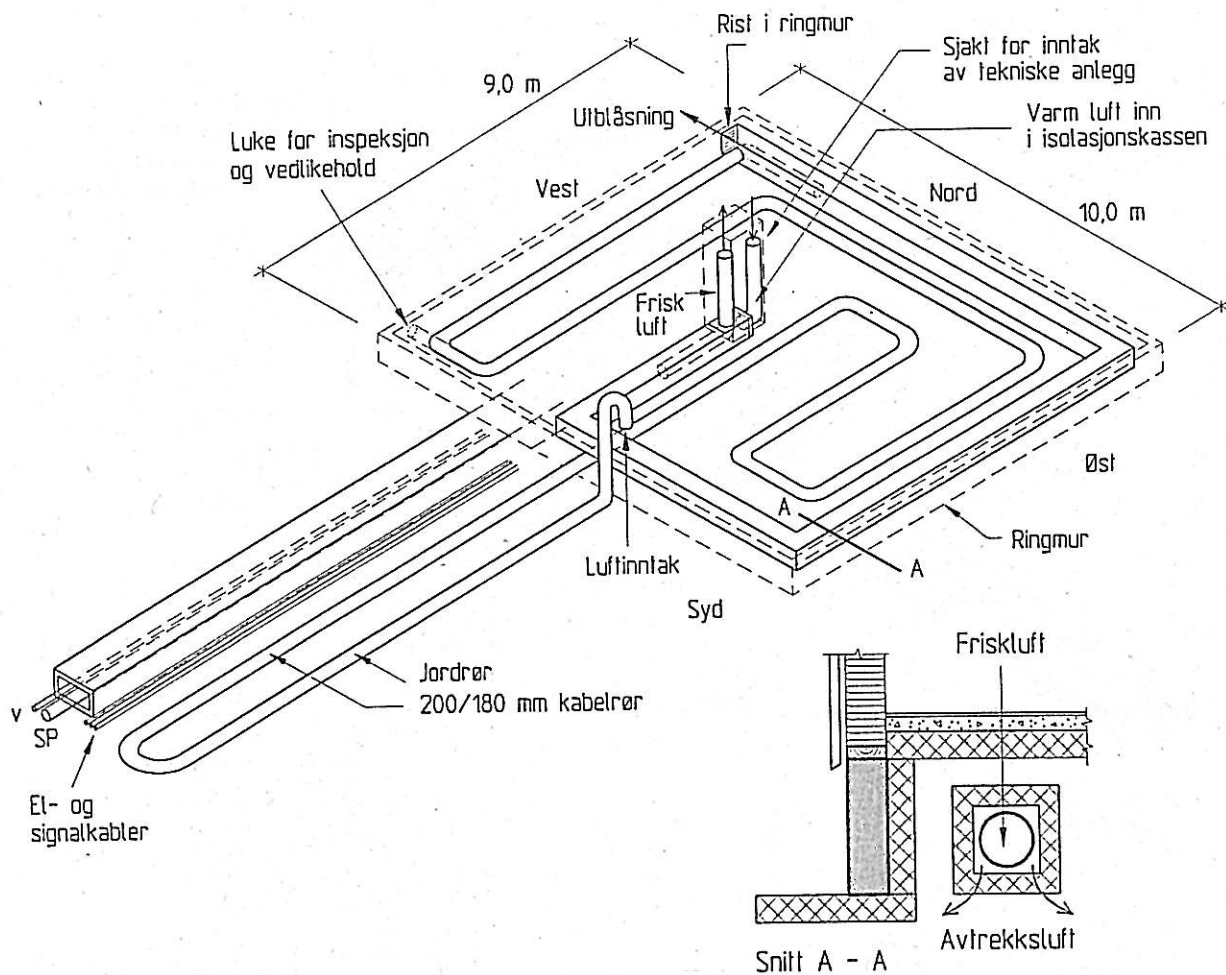


Fig. 3.2.2 a. Systemløsning for varmegjenvinning av avtrekksluften og forvarming av tilluften. Varmevexlerenheten og deler av jordrøret er plassert under gulvet i boligen. Det utvendige jordrøret er lagt i fellesgrøft med isolerte VA-ledninger eller i kabelgrøfta

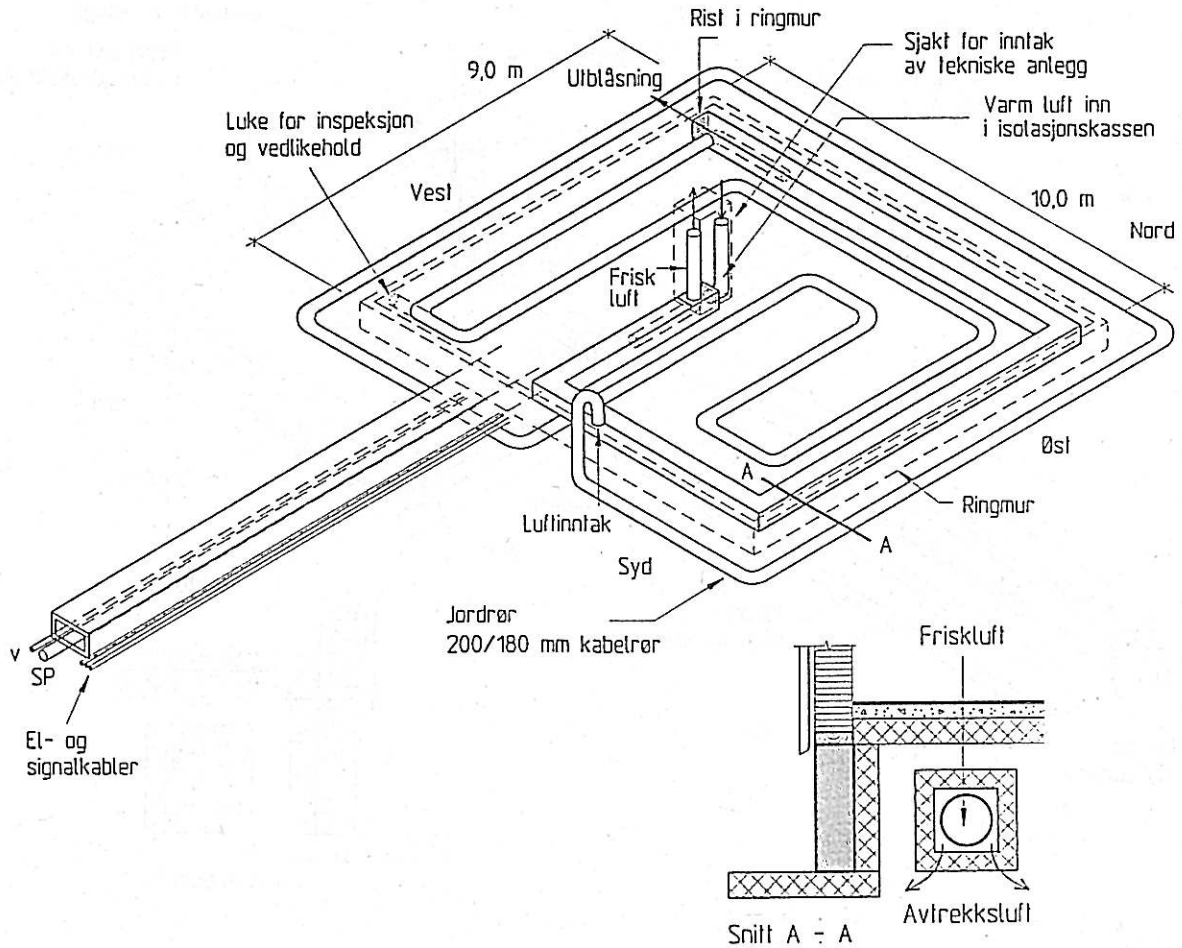


Fig. 3.2.2 b. Systemløsning for varmegjenvinning av avtrekksluften og forvarming av tilluften. I ikke telefarlig grunn kan jordrøret legges sammen med dremsledningen rundt deler av ringmuren. I skrånende terreng kan jordrøret også legges under fyllingen på nedsiden av huset hvis det skal foretas planering

3.2.3 Temperaturforhold i grunnen under boligen

Varmetap fra gulvet

Varmetapet fra gulvet over fyringsesongen som funksjon av gulvets ekvivalente U-verdi er gitt i fig. 3.2.3 a. Ekvivalent U-verdi for gulvet er her definert som en U-verdi som beregningsmessig (NS 3031) gir et riktig energitap fra gulvkonstruksjonen til omgivelsene over fyringsesongen. Denne U-verdien er koblet til utelufttemperaturen, og kan ikke brukes som grunnlag for å bestemme dimensjonerende varmetap fra gulvet.

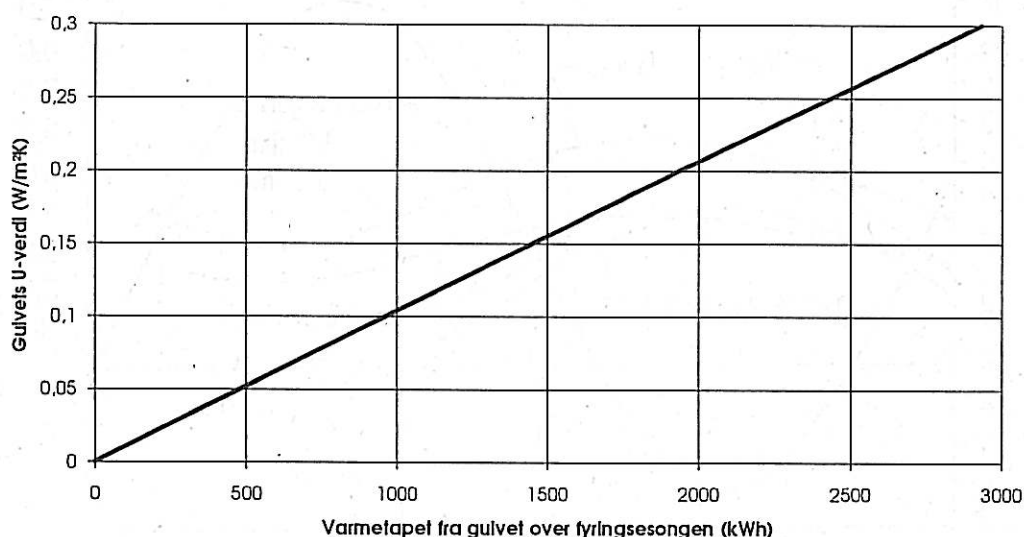


Fig. 3.2.3 a. Samlet energitap fra gulvflaten i referanseboligen over fyringssesongen (ca. 84 m² gulvflate) som funksjon av gulvets ekvivalente U-verdi, Oslo klima

Med en ekvivalent U-verdi på 0,2 W/m²K blir energitapet over fyringssesongen fra gulvet ca. 2 000 kWh eller 24,0 kWh/m². Referanseboligen har en grunnflate på ca. 84 m². Ikke all denne energien vil magasineres i grunnen under boligen, noe tapes ut til sidene. Tapet kompenseres imidlertid av jordvarme som blir tilført grunnen om sommeren. I en mindre bolig vil man ha tilnærmet tredimensjonale varmestrømsforhold under boligen.

Temperaturer i grunnen

En ekvivalent U-verdi på 0,2 W/m²K for gulvkonstruksjonen krever isolasjonstykkelse på ca. 100 mm. Vi har tidligere utført varmetapsberegninger fra gulvet det er forutsatt tredimensjonale temperaturforhold, se fig. 3.2.3 b. Her er det angitt et midlere varmetap for hele gulvflaten. Varmetapet er størst ved en randsone og minst midt under boligen.

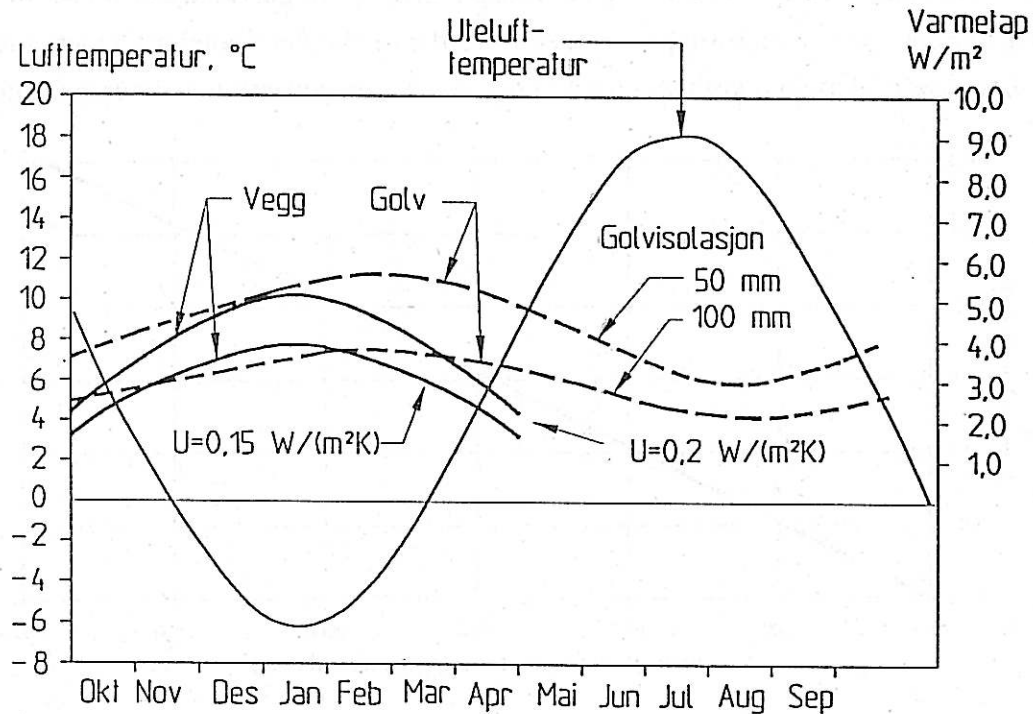


Fig. 3.2.3 b. Midlere varmetap fra en gulvflate over året. Det er forutsatt tredimensjonale temperaturforhold og en overflatetemperatur på gulvet på 20 °C

Av fig. 3.2.3 b ser vi at når det brukes 100 mm tykk gulvisolasjon, er varmetapet over året relativt konstant med et dimensjonerende varmetap på ca. 4,0 W/m² og et varmetap over fyringsesongen på 3 - 4 W/m². Med en grunnflate på ca. 84 m² gir dette et varmetilskudd fra gulvflaten til undergrunnen på 250 - 335 W.

Et varmetap på fra gulvoverflaten q på 4,0 W/m² gir da grovt regnet en temperaturdifferanse Δt mellom gulvoverflaten og undergrunnen umiddelbart under gulvisolasjonen:

$$\Delta t = \frac{q \cdot \delta}{\lambda} = \frac{4,0 \cdot 0,1}{0,04} = 10,0 \text{ °C}$$

Dette betyr en midlere jordtemperatur t_{jord} under gulvisolasjonen på:

$$t_{\text{jord}} = 20,0 - 10,0 = 10,0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Når vi ser bort fra randsonen, bekreftes disse vurderingene av målinger og beregninger som gir jordtemperaturer umiddelbart under gulvisolasjonen på 10 - 15 °C.

Figur 3.2.3 c viser et normalt temperaturbilde under en oppvarmet bolig under sommer- og vinterforhold. Temperaturene midt under boligen er relativt stabile over året, mens temperaturene svinger noe i en ytre sone mot ringmuren. Det fremgår også at årsmiddeltemperaturen under store deler av gulvet er vesentlig høyere enn årsmiddeltemperaturen for luften og dypere nede i grunnen. For Oslo-området ligger årsmiddeltemperaturen på 6.0 °C. Man har derfor et varmemagasin som kan utnyttes. Selv med et større varmeuttak i vinterhalvåret fra massene under boligen, kan temperaturforholdene regenereres i løpet av sommerhalvåret. Man får også tilført betydelige varmemengder fra jordrøret under sommerforhold.

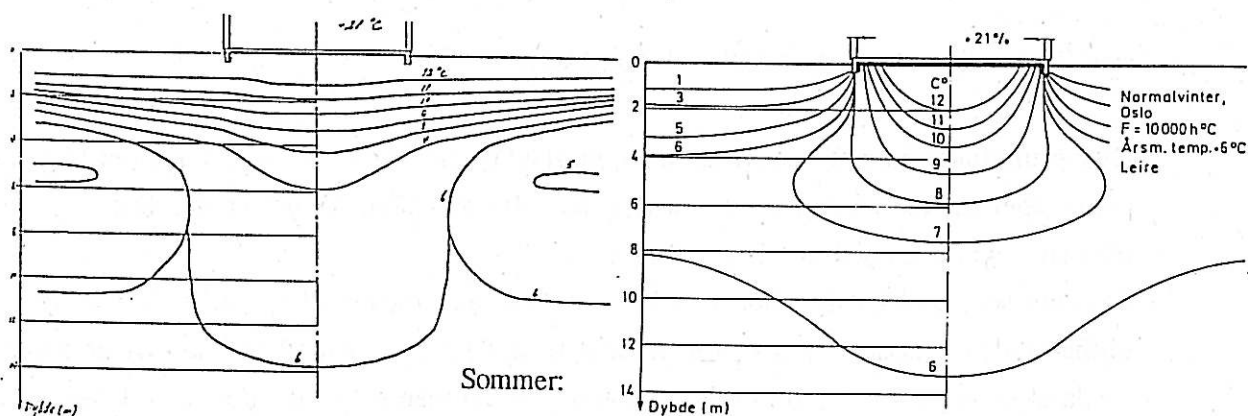


Fig. 3.2.3 c. Temperaturforhold i grunnen under en bolig som er fundamentert med gulv på grunnen

Varmekapasitet for massene under gulvet

Man kan anta at gjennomsnittlig temperatur i de øvre jordlag (0 til 1,0 m) under boligen vil ligge på min. 12,0 °C før fyringssesongen starter. Jordlaget representerer et

varmelager som virker som en buffert man kan trekke på i perioder under vinteren hvor man har en ubalanse mellom tilført og avgitt varme. Varmelageret er særlig viktig i de tilfellene der det eksterne jordrøret er underdimensjonert eller sløyfet.

Spesifikk varmekapasitet for fuktige jordmasser k er gitt av:

$$k = (k_{\text{jord}} + k_{\text{vann}} \cdot w/100) \cdot \rho$$

k_{jord} = spesifikk varmekapasitet for jordens faststoff $\approx 0,84$ kJ/kgK

k_{vann} = " " " " vann = 4,18 "

w = Vektprosent vann

ρ = Jordens densitet i tørr tilstand kg/m³

Hvis jordmassene innenfor ringmuren består av grus med tørr densitet $\rho = 1900$ kg/m³ og med et fuktinnhold $w = 4,0$ % er den spesifikk varmekapasiteten k lik:

$$k = (0,84 + 4,18 \cdot 4/100) \cdot 1900 = 1914,7 \text{ kJ/K}$$

Hvis materialene er pukkk ($\rho = 1350$ kg/m³ og $w = 2,0$ vektprosent), reduseres varmekapasiteten k til:

$$k = (0,84 + 4,18 \cdot 2/100) \cdot 1350 = 1246,9 \text{ kJ/K}$$

Hvis grunnflaten innenfor ringmuren har en flate på ca. 80 m², vil et ca. en meter tykt varmelager representere en energimengde på 300 - 500 kWh. Vi forutsetter da at massene kan kjøles ned mot frysepunktet.

Hvis massene under gulvet ikke er telefarlige, kan man også for boliger i meget kaldt klima tillate at massene fryser. Varmekapasiteten på grunn av innfrysingsvarmen for is vil da økes betydelig. Derfor er det lite sannsynlig at man får temperaturer særlig under frysepunktet.

3.2.4 Energi- og effektilførsel fra jordrøret utenfor og under boligen

Figur. 3.2.4 a viser varighetskurven for utetemperaturen for Oslo. Med en temperatur på tilluften etter jordrøret på $-1,0$ °C, vil jordrøret over fyringssesongen tilføre luften en energimengde på ca. 580 kWh. Hvis vi antar at jordrøret under boligen i gjennomsnitt over fyringssesongen hever temperaturen på tilluften fra $-1,0$ til $4,0$ °C før den kommer til varmeveksleren, blir samlet energi som tilføres luften 1 425 kWh. Her vil 580 kWh tilføres luften fra det eksterne jordrøret og resten, 845 kWh, under gulvet. Vi har da forutsatt et relativt lite varmeuttak fra grunnen under boligen.

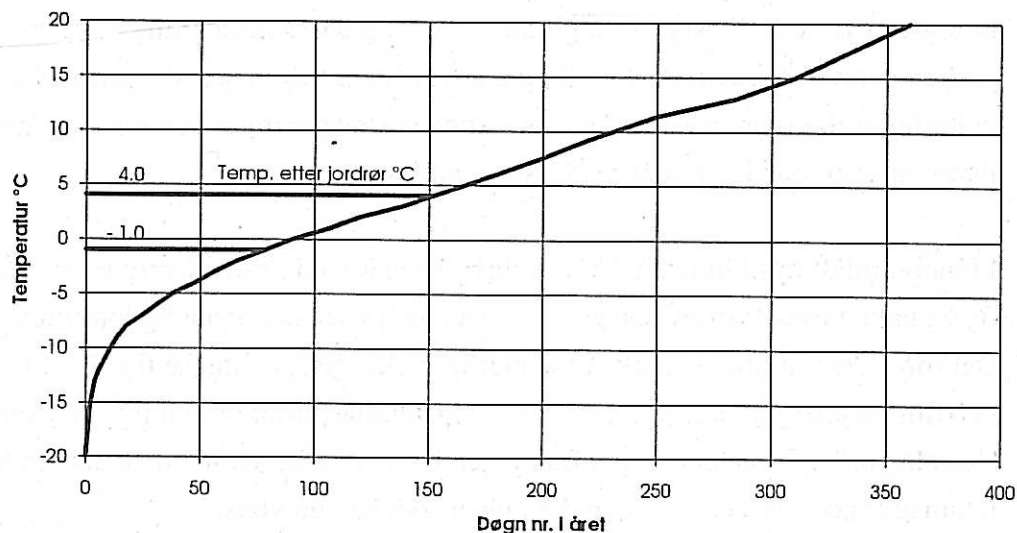


Fig. 3.2.4 a. Varighetskurve for uteluftens døgnmiddeltemperaturer for Oslo. Det er inntegnet temperaturlinjen for luften etter jordrøret i grunnen ($-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) og under gulvet ($4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) før inngang til varmeveksleren.

Hvis utelufttemperaturen er $-15,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ og temperaturen på tilluften etter at den har passert jordrøret er $4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, er samlet effektilførsel:

$$q = c_p \cdot \rho \cdot Q \cdot \Delta t = 1\,000 \cdot 1,2 \cdot \frac{174}{3\,600} \cdot 19 = 1\,102\text{ W}$$

Denne effekten vil svinge mellom $1\,400\text{ W}$ under dimensjonerende forhold ($0,7$ luftvekslinger i timen) og 760 W med grunnventilasjonen ($0,4$ luftvekslinger i timen).

Av et effektbehov på $1\,102\text{ W}$ vil det eksterne jordrøret tilføre luften en effekt på 812 W , mens jordmassene under boligen kun skal tilføre luften en nær konstant varmemengde på 290 W med en minimumsverdi på bare 200 W . Denne effekt- og energifordelingen er gunstig. Det er en fordel at varmetilførselen til jordrøret under boligen tilnærmet kan kompenseres med varmetapet fra gulvflaten. Det er imidlertid viktig å også ha tilgjengelig et varmemagasin i jordmassene under boligen som man kan trekke på hvis det skulle oppstå en ubalanse. Med et slikt varmemagasin kan man over en kortere periode trekke ut en større energimengde fra massen under gulvet uten at det betyr vesentlige lavere gjennomsnittstemperaturer over fyringssesongen.

I grunnen utenfor huset har man tilgjengelig store varmekapasiteter som tåler relativt kortvarige lave temperaturer og store effektuttak. Derimot vil regenereringen av temperaturbildet her være mer sesongbetiget, særlig i områder med stabilt kaldt klima.

Energien som kan trekkes ut fra grunnen, bør begrenses mest mulig for å unngå for lave jordtemperaturer. Det er derfor viktig å behovsstyre ventilasjonsluftmengden under vinterforhold. I områder med mer vekslende lufttemperaturer kan man regenerere av jordtemperaturene i perioder med høyere lufttemperaturer.

I relativt mildt kystklima med kortvarige perioder med lufttemperaturer under frysepunktet over fyringsesongen, kan man ev. sløyfe det utvendig jordrøret. Det forutsetter at grunnen ikke er telefarlig, f.eks. fjellterreng, se fig. 3.2.4 b. Selv om den tilførte energimengden for å varme opp ventilasjonsluften vil ligge i samme størrelsesorden som energitapet fra gulvet, har man etter sommerhalvåret en betydelig oppmagasinert varmemengde under gulvet som kan utnyttes.

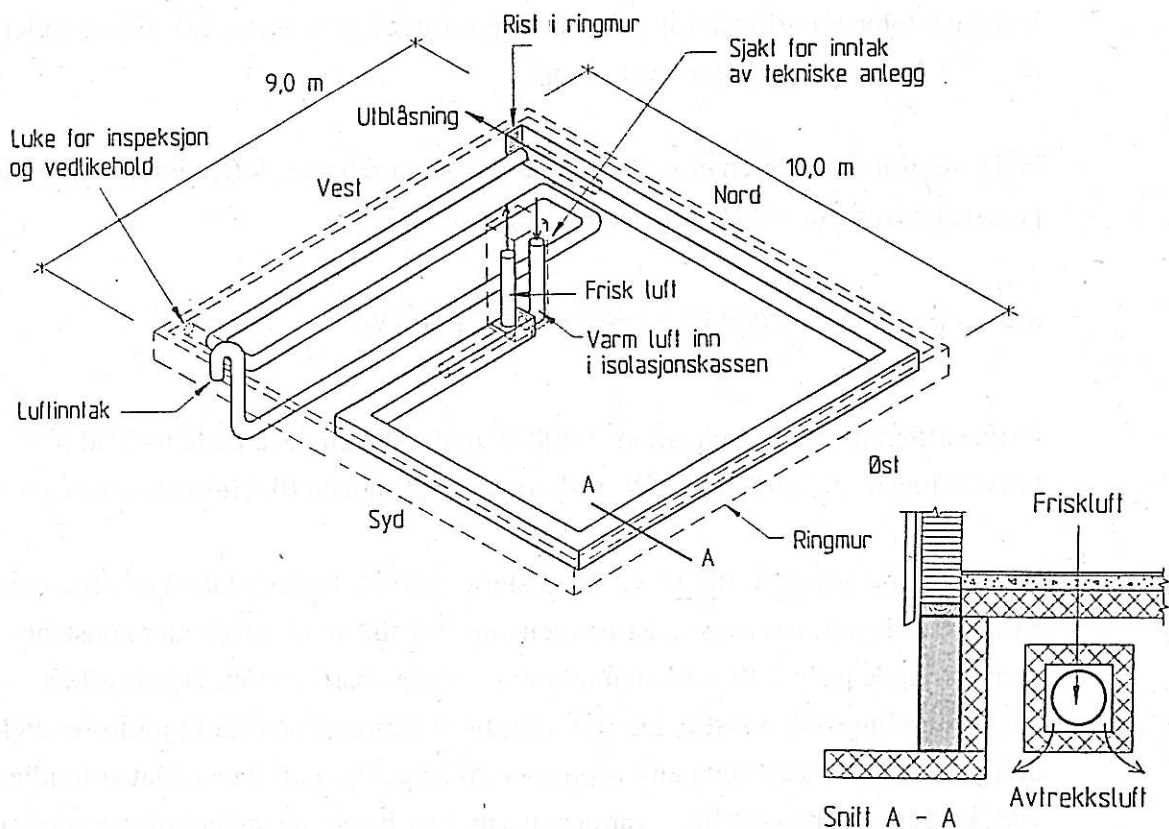


Fig. 3.2.4 b. I mildt kystklima kan både forvarmerør og varmeveksler plasseres under gulvet

Det er alltid en fordel å forvarme luften ved hjelp av et utvendig jordrør før luften føres inn under boligen. Man har da mulighet for å oppnå vesentlig høyere forvarmingstemperatur uten at det går på bekostning av økt varmetap fra gulvet.

3.3 Varmeveksler under hus med og uten eksternt jordrør

Ved å la isolasjonskassen følge ringmuren vil kassen inngå som en del av ringmursisolasjonen, se fig. 3.3. Konstruksjonen kan benyttes når grunnen er telefarlig uavhengig av klimaforholdene. For en vanlig husbankbolig med en grunnflate på ca. 90 m² vil man dermed få en lengde på varmeveksleren på ca. 40 m. Det gir en temperaturvirkningsgrad på ca. 75 % uten bruk av jordrør, se fig. 4.3 b. Isolasjonskassen virker i dette tilfellet som et effektivt skjold mot varmetap fra massene innenfor og til omgivelsene. Dette er gunstig da varmetapet fra en gulv på grunnen fundamentering er størst i en ytre randsone mot ringmuren. Ved å forbedre isolasjonen i denne sonen, kan man redusere tykkelsen på gulvisolasjonen og allikevel oppnå samme U-verdi for gulvet. I prinsippet betyr det at vi kan øke lengden, og dermed varmevekslerens virkningsgrad, og kompensere for disse tilleggskostnadene ved å redusere tykkelsen på gulvisolasjonen, se Bilag 1.

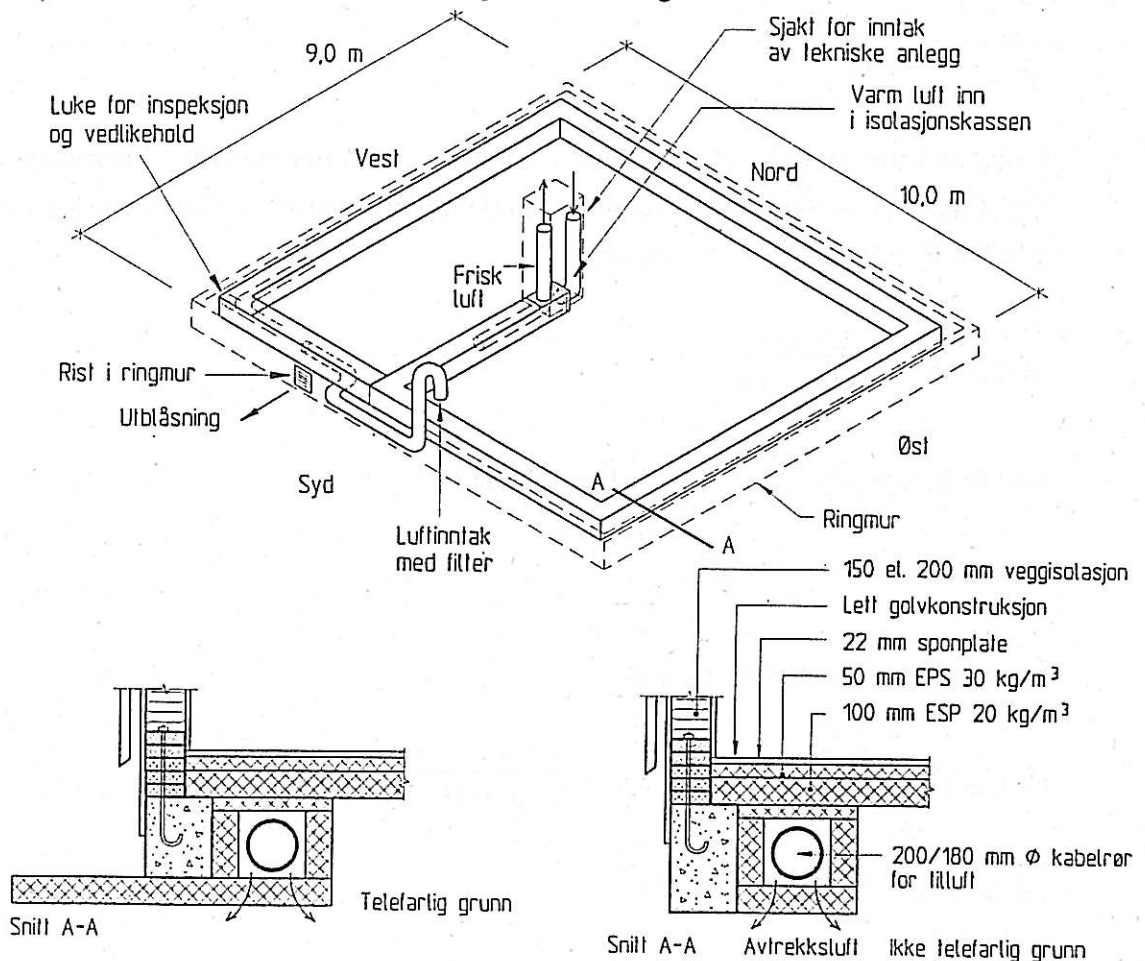


Fig. 3.3. Isolasjonskassen (varmeveksleren) inngår som en del av ringmursisolasjonen. Lengden på varmeveksleren er ca. 40 m, som gir en temperaturvirkningsgrad på ca. 75 % uten bruk av jordrør. Ved å bruke et eksternt jordrør vil virkningsgraden ytterligere forbedres samtidig som man unngår overtemperaturer på ventilasjonsluften under sommerforhold.

4 DIMENSJONERING

4.1 Dimensjonering av jordrøret i grunnen utenfor boligen

Med de aktuelle luftmengdene har vi tidligere regnet ut et gjennomsnittlig innvendig varmeovergangstall $\alpha = 10.3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Med et korrugert kabelrør 200/180 mm blir varmetilførselen:

$$q_{\text{jord}} = 0,85 \cdot 10,3 = 8,8 \text{ W/mK.}$$

Hvis vi forutsetter at jordtemperaturen er konstant lik $0 \text{ }^\circ\text{C}$ over rørstrekket, vil endringen i temperaturdifferansen mellom luften og rørveggen $d(\Delta t)$ være gitt av uttrykket:

$$d(\Delta t) = -\frac{q_{\text{jord}} \cdot \Delta t}{Q \cdot \rho \cdot c_p} \cdot dL \quad (3)$$

Vi har da forutsatt at overflatetemperaturen på røret er tilnærmet lik jordtemperaturen. Ved å løse denne likningen bestemmes temperaturdifferansen mellom rørveggen og tilluften Δt som funksjon av rørlengden L :

$$\Delta t = (\Delta t_0) \cdot e^{-\frac{L \cdot q_{\text{jord}}}{Q \cdot \rho \cdot c_p}} \quad (4)$$

Når jordtemperaturen er forutsatt konstant lik $0 \text{ }^\circ\text{C}$ er:

$$\Delta t_0 = \text{Utelufttemperaturen } t_{\text{ute}}$$

Temperaturen på tilluften t er da:

$$t = (t_{\text{ute}}) \cdot e^{-\frac{L \cdot q_{\text{jord}}}{Q \cdot \rho \cdot c_p}} = (t_{\text{ute}}) \cdot e^{-\frac{L \cdot 8,8}{174/3 \cdot 600 \cdot 1,2 \cdot 1 \, 000}} = \quad (5)$$

$$t = (t_{\text{ute}}) \cdot e^{-0,152 \cdot L}$$

Figur 4.1 viser temperaturforløpet på luften inne i jordrøret for forskjellige tilluftstemperaturer. Vi ser at man får en relativt hurtig oppvarming av luften i røret når jordvarmen holder jordtemperaturen rundt frysepunktet. I kaldt klima med lange perioder med lufttemperaturer under frysepunktet, vil jordtemperaturene synke noe mer

ved innløpet. Temperaturfallet må kompenseres ved å forlenge røret eller å la røret passere under boligen før det kommer ut i jordgrøfta. En slik løsning forutsetter at grunnforholdene ikke er spesielt telefarlige. Da lave temperaturer under boligen vil føre til større varmetap fra gulvet, kan det være en fordel å forvarme luften ved hjelp av et eksternt jordrør før luften trekkes under boligen.

Tidlig i fyringssesongen vil man i den utvendige jordgrøfta ha jordtemperaturer som ligger betydelig over frysepunktet. En aktuell rørlengde for jordrøret vil normalt ligge mellom 20 - 30 m. Man oppnår relativt liten temperaturgevinst ved å øke rørlengden utover dette. Rørlengden må for øvrig bestemmes i hvert enkelt tilfelle ut fra lokale forhold.

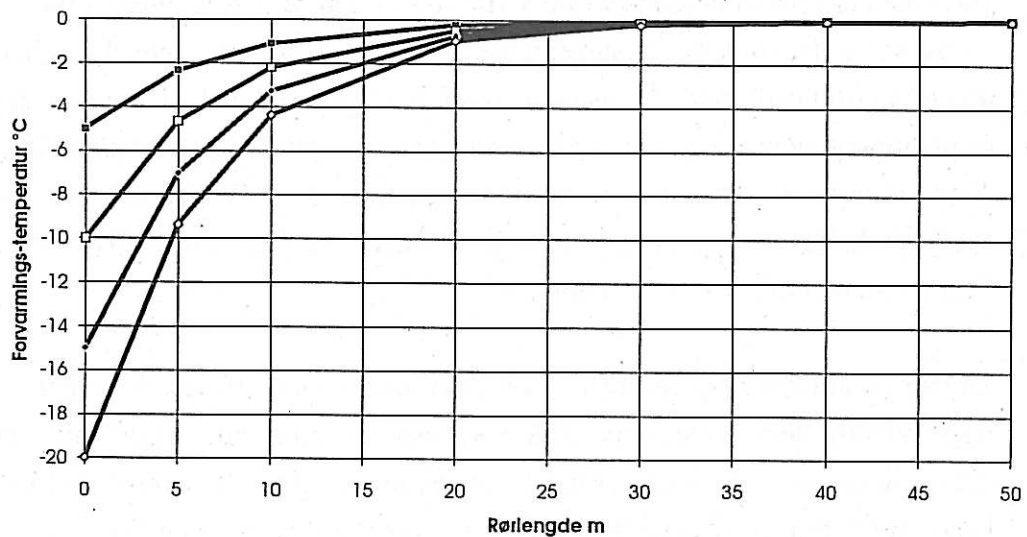


Fig. 4.1. Oppvarming av tilluften i jordrøret med forskjellig inngangstemperatur under forutsetning av at jordvarmen kan holde en gjennomsnittlig jordtemperatur rundt jordrøret rundt frysepunktet.

Hvis utelufttemperaturen er $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ og lufttemperaturen etter jordrøret $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, er varmetilførselen til luften være:

$$q = c_p \cdot \rho \cdot Q \cdot \Delta t = 1\,000 \cdot 1,2 \cdot \frac{174}{3\,600} \cdot 13 = 754\text{ W}$$

Dersom jordrøret har en total lengde på 25 m, betyr dette en gjennomsnittlig varmetilførsel på 30 W/m. Nå vil varmetilførselen ikke være jevnt fordelt over hele røret, men være størst ved innløpet, der temperaturforskjellen er størst. I kortere

perioder kan jordrøret her tilføre luften effekter på 130 W/m eller mer. Så store varmeuttak fra grunnen vil over tid senke jordtemperaturen. For å opprettholde samme forvarming må denne temperatursenkningen kompenseres ved å gjøre jordrøret noe lengre. Områder med stabilt kaldt klima vil derfor kreve noe lengre jordrør. Ved moderat kaldt klima med vekslende temperaturer vil jordtemperaturen i grunnen rundt jordrøret normalt ikke falle under frysepunktet.

4.2 Dimensjonering av jordrøret under gulvet

For å kunne heve temperaturen på luften i jordrøret under gulvet fra $-1,0\text{ °C}$ til $4,0\text{ °C}$ kreves, med de aktuelle luftmengdene, en effekt på 290 W. Varmeoverføringen fra jordmassene til luften i røret er tidligere bestemt til ca. $8,8\text{ W/mK}$. Vi får derfor en meget effektiv varmeoverføring fra jordmassene til luften i jordrøret. Da varmetapet fra gulvflaten er relativt begrenset ($4,0\text{ W/m}^2$) og fordelt over hele gulvflaten, bør varmeuttaket fra jordrøret også begrenses. Nå vil det i praksis være slik at man får en relativt kraftig nedkjøling av massene rundt røret ved innløpet. Nedkjølingen vil så forplante seg videre etter som jordmassene gradvis kjøles ned. Med en rørlengde på 15 - 20 m vil midlere varmeuttak fra jordrøret ligge på $15 - 20\text{ W/m}$, som bør være akseptabelt. Det er viktig at rørene under boligen ikke ligger for tett ved siden av hverandre, men fordeles over gulvflaten.

En mer eksakt dimensjonering av jordrørene krever mer omfattende beregninger, som ligger utenfor dette prosjektets rammer. Uansett hvor stor nøyaktighet man legger inn i dimensjoneringen, vil det på grunn av kompliserte dynamiske temperaturforhold være behov for målinger av aktuelle anlegg for å kunne kalibrere modellen.

4.3 Dimensjonering av varmeveksleren

Utvendig plassering av varmeveksler og jordrør, fig. 3.

Vi ønsker f.eks. en temperaturvirkningsgrad for varmeveksleren på 70 %. I et balansert anlegg med like store luftmengder i tilluft og avtrekk, er temperaturvirkningsgraden η gitt av uttrykket:

$$\eta = \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1} = 0,7 \quad (6)$$

t_1 = Inntakstemperaturen på uteluften når denne kommer inn i varmeveksleren

t_2 = Temperaturen på inntakluften etter at denne har passert varmeveksleren

t_3 = Temperaturen på avtrekksluften (22 °C)

Hvis vi antar at laveste temperatur på uteluften etter at denne har passert jordrøret er $t_1 = -2,0 \text{ }^\circ\text{C}$, varmer varmeveksleren uteluften opp til:

$$t_2 = \eta \cdot (t_3 - t_1) + t_1 = 0,7 \cdot (24) - 2 = 14,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

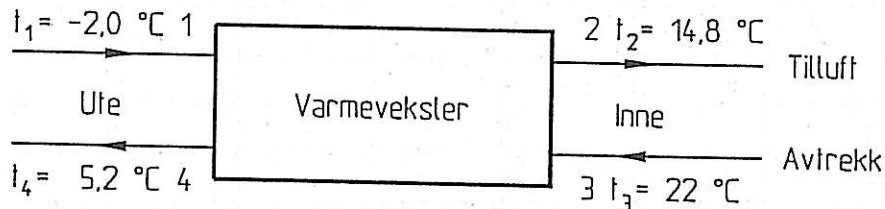


Fig. 4.3 a. Temperaturforholdene før og etter varmeveksleren. Inntakstemperaturen på friskluften er $-2,0 \text{ }^\circ\text{C}$, og temperaturvirkningsgraden 70 %

Uteluften blir oppvarmet $16,8 \text{ }^\circ\text{C}$ i varmeveksleren og tilføres dermed varmemengden q som er gitt av:

$$q = c_p \cdot \rho \cdot Q \cdot \Delta t = 1\,000 \cdot 1,2 \cdot \frac{174}{3\,600} \cdot 16,8 = 974 \text{ W} \quad (7)$$

Middeltemperaturdifferansen i en varmeveksler er normalt gitt av uttrykket:

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln(\Delta t_1 / \Delta t_2)} \quad (8)$$

I dette tilfellet med samme luftmengde på begge sider av røret og når det samtidig ses bort fra varmetapet fra isolasjonskassen, er middeltemperaturdifferansen:

$$\Delta t_m = 22,0 - 14,8 = 7,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

Nødvendig rørlengde L er da:

$$L = \frac{q}{k \cdot \Delta t_m} = \frac{974}{4,1 \cdot 7,2} = 33 \text{ meter} \quad (9)$$

Forholdet mellom varmevekslerens temperaturvirkningsgrad og rørlengde er vist på fig. 4.3 b.

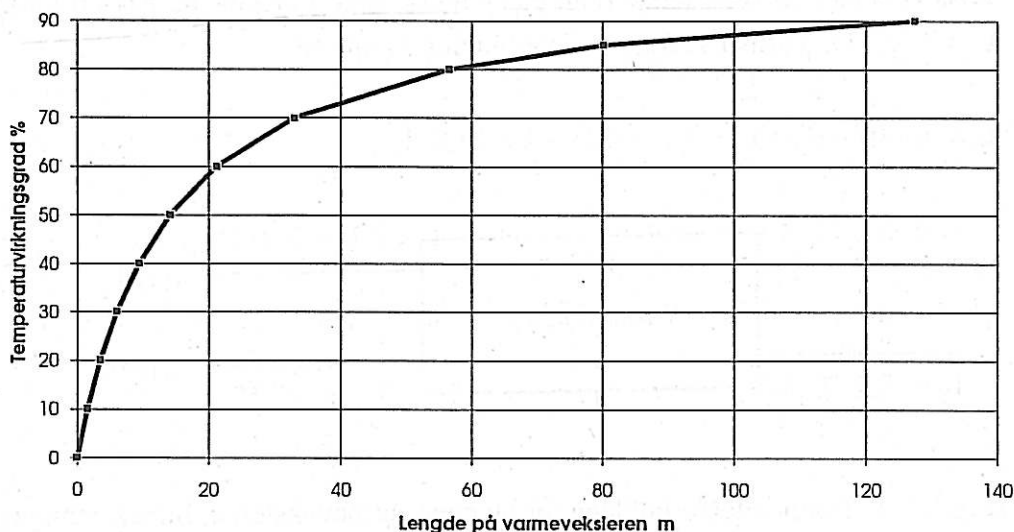


Fig. 4.3 b. Sammenheng mellom lengden på varmeveksleren og temperaturvirkningsgraden

Det framgår av fig. 4.3 b at lengden på varmeveksleren øker meget sterkt med en temperaturvirkningsgrad over 60 %. Med en temperaturvirkningsgrad på 60 % ligger lengden på 21 m, mens den øker til 33 m når virkningsgraden økes til 70 %, det vil si ca. 60 % lengdeøkning på varmeveksleren. Rent generelt er det en eksponensiell sammenheng mellom en varmevekslers overflateareal og temperaturvirkningsgrad. Dette er forholdet det er viktig å være klar over når man skal vurdere totale systemkostnader.

Figur 4.3 c viser den varmemengden som tilføres tilluften i varmeveksleren. Når inngangstemperaturen øker, tilfører jordrøret ventilasjonsluften mer varme. Dette igjen betyr mindre temperaturdifferanse, og varmeveksleren overfører derfor mindre varme til luften. Figur 4.3 c viser at man har størst stigning i varmetilførselen til tilluften for lengder på varmeveksleren opp til 20 - 30 m.

Det er vesentlig rimeligere legge ned et jordrør i grunnen enn å legge det ned i en isolasjonskasse. Derfor kan det være en fordel med en utførelse der jordrøret løfter temperaturen på tilluften så høyt som mulig før den føres inn i varmeveksleren.

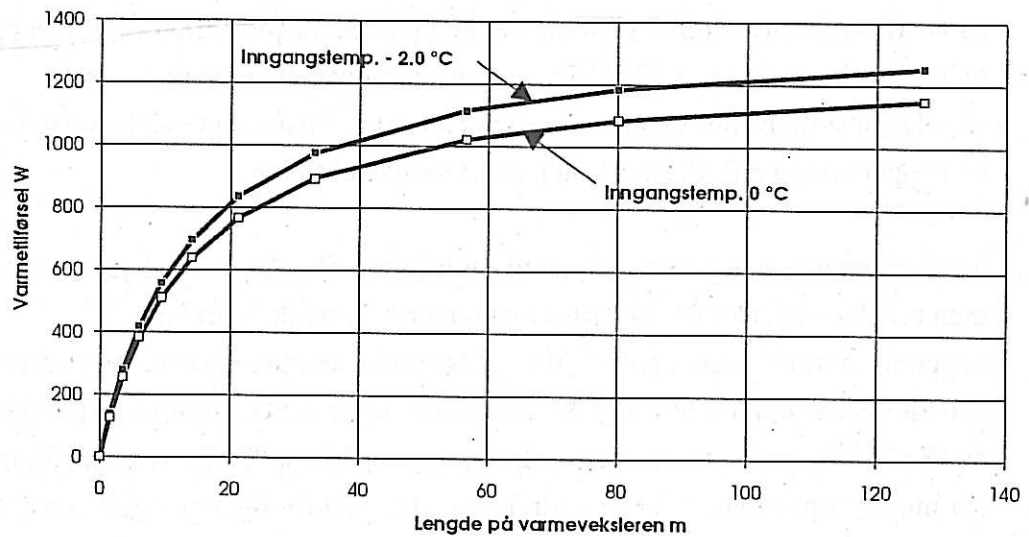


Fig. 4.3 c. Tilført effekt til tilluften i varmeveksleren for forskjellige tillufttemperatur

Figur 4.3 d viser inntakstemperaturen på friskluften etter at den har passert varmeveksleren. Det framgår her at det er en fordel med høyest mulig tilluftstemperatur på luften som kommer inn i varmeveksleren fra jordrøret. Høy tilluftstemperatur gjør at man kan akseptere å bruke en varmeveksler med lavere virkningsgrad.

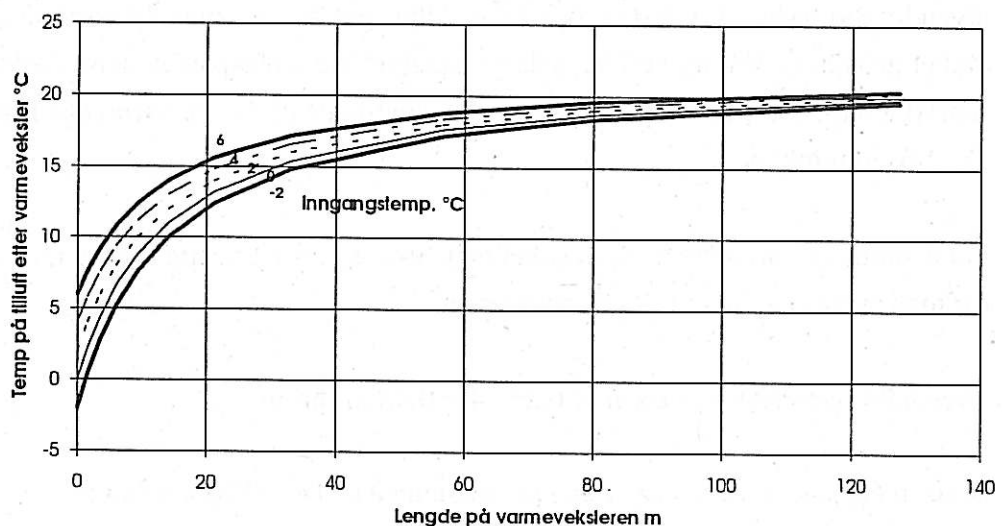


Fig. 4.3 d. Temperaturen på friskluften etter at den har passert varmeveksleren som funksjon av lengden på varmeveksleren og inngangstemperaturen

Med en rørlengde på 20 m har varmeveksleren en temperaturvirkningsgrad på ca. 60 %. Varmetilførselen til friskluften vil da ligge på 800 W når luften kommer inn i varmeveksleren med -2,0 °C. Gjennomsnittlig varmeoverføring i varmeveksleren blir

da 40 W/m. I dette tilfellet vil temperaturen på ventilasjonsluften etter å ha passert varmeveksleren ligge på 12 °C. Dette er en uakseptabel lav temperatur på ventilasjonsluften som vil kreve noe ettervarming. Tilsvarende vil avtrekksluften vil ha en temperatur på 8.0 °C etter å ha passert varmeveksleren.

Laveste inngangstemperatur på ventilasjonsluften til boligen bør ligge på 15 - 17 °C uten bruk av ettervarmer. Det tilsier rørlengder på rundt 30 m og en temperaturvirkningsgrad på ca. 70 %. Tilsvarende temperaturnivå etter varmeveksleren kan alternativt oppnås ved å bruke en varmeveksler med en temperaturvirkningsgrad på 60 % når lufttemperaturen etter jordrøret ligger på 4 - 6 °C. Dette temperaturnivået er det mulig å oppnå ved å legge jordrøret uisolert utenfor og under gulvkonstruksjonen.

4.4 Varmetap fra isolasjonskassen til grunnen

Utenfor boligen

I det foregående har vi sett bort fra varmetapet fra isolasjonskassen til grunnen. Den aktuelle isolasjonskassen som er vist på fig. 3, er kvadratisk med en utvendig bredde og høyde på 400 mm. Isolasjonskassen er utført i ekstrudert polystyren med en isolasjonstykkelse på 80 mm. I tillegg til et lavt varmetap er det viktig at kassen er relativt robust. Isolasjonskassen må kunne tåle å ligge i grunnen der den er utsatt for et utvendig jordtrykk. For å stive opp kassen hvis grøfta har utvendig trafikklast, kan lokket utføres av 100 mm tykke isolasjonsplater. Økt isolasjonstykkelse i lokket vil samtidig redusere varmetapet fra kassen betydelig, da ca. 1/3 av varmetapet fra kassen går gjennom lokket.

For å simulere varmetapet på en enkel måte kan vi f.eks. erstatte kassen med et isolert rør med samme indre overflate som kassen.

Innvendig overflate på kassen er $0,24 \cdot 4 = 0,96 \text{ m}^2$ pr. m

Et rør med samme indre overflate har en diameter: $D_i = 0,96/\pi = 0,3 \text{ m}$

Rørets ytre diameter med 80 mm tykk isolasjon: $D_y = 0,3 + 0,16 = 0,46 \text{ m}$

Varmetapet q fra kassen til omgivelsene er gitt ved:

$$q = k \cdot L \cdot \Delta t_m \quad (10)$$

Når vi forutsetter at ytre overflatetemperatur på kassen er omtrent lik jordtemperaturen, kan varmegjennomgangstallet bestemmes av:

$$k = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_i \cdot D_i} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{is}} \cdot \ln D_y/D_i} \quad (11)$$

$$k = \frac{\pi}{\frac{1}{10,3 \cdot 0,3} + \frac{1}{2 \cdot 0,033} \cdot \ln 0,46/0,3} = 0,46 \text{ W/mK}$$

Omgivelsestemperaturen rundt kassen er forskjellig med høyeste temperatur under kassen og lavest over kassen. Disse temperaturene vil variere over fyringssesongen. Hvis vi antar at laveste gjennomsnittlige omgivelsestemperatur utenfor kassen ligger på 2,0 °C og middeltemperatur inne i kassen er 12 °C, blir $\Delta t_m = 10$ °C. Varmetapet fra kassen blir i dette tilfellet:

$$q = k \cdot \Delta t_m = 0,46 \cdot 10 = 4,6 \text{ W/m}$$

Hvis kasselengden er 25 m, blir samlet varmetap:

$$q = 4,6 \cdot 25 = 115 \text{ W}$$

Dette varmetapet vil gi et temperaturfall på avtrekksluften over varmeveksleren på:

$$\Delta t = q/c_p \cdot \rho \cdot Q = 2,0 \text{ °C.}$$

Varmetapet ligger i størrelsesorden 20 % av total avgitt varme fra fraluften. På grunn av høye temperaturdifferanser vil varmetapet være størst der fraluften slippes inn i kassen. Dette er gunstig fordi denne delen av kassen ligger under gulvet der omgivelsestemperaturene er betydelig høyere enn i grunnen utenfor huset. Varmetapet kan derfor bli noe lavere. Varmetapet blir også lavere når tykkelsen på isolasjonslokket økes til 100 mm.

Under gulvet

En annen metode å redusere varmetapet til et minimum på er å legge varmeveksleren under gulvet, se fig. 3.2.2 a. Isolasjonskassen blir da utsatt for vesentlig mindre varmetap og mekanisk belastning. Dermed kan man redusere isolasjonstykkelsen til

60 mm. I dette tilfellet kan man med god tilnærming se bort fra varmetapet fra isolasjonskassen. En vesentlig del av varmen som avgis fra kassen, vil ikke tapes, men kan redusere varmetapet fra gulvet.

5 TEMPERATURFORHOLD OG SYSTEMVIRKNINGSGRAD UNDER FYRINGSSESONGEN

5.1 Varmeveksler med utvendig jordrør

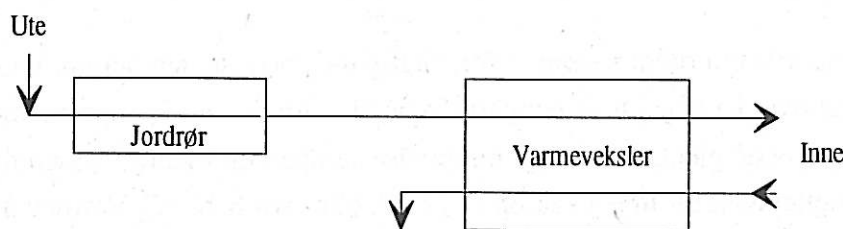


Fig. 5.1 a. Systemløsning med jordrør for forvarming og varmeveksler

Figur 5.1 b viser en varighetskurve for utluftens døgnmiddeltemperatur for Oslo - Blindern. Særlig forholdene i fyringssesongen har interesse i energisammenheng. Jordrøret forvarmer luften før den kommer fram til varmeveksleren. Forvarmingen kan dimensjoneres slik at temperaturen på ventilasjonsluften ligger i området fra 0 til $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ etter å ha passert jordrøret. I perioder på forvinteren da det er lagret relativt mye varme i grunnen og man har store svingninger i temperaturforholdene, kan lufttemperaturen etter jordrøret ligge betydelig høyere.

I fig. 5.1 b er det temperaturen på ventilasjonsluften inntegnet etter at den har passert varmeveksleren. Temperaturforholdene er angitt med en varmeveksler med temperaturvirkningsgrad på 60 og 70 %. Inngangstemperaturen på tilluften til varmeveksleren er satt til $-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Forholdet gjelder under forutsetning av at både jordrør og varmeveksler ligger i grunnen utenfor boligen, se fig. 3. I en periode om våren når døgnmiddeltemperaturen ligger noe over frysepunktet, vil ikke lufttemperaturen etter varmeveksleren helt følge stigningen i lufttemperaturen. Årsaken er at det som regel vil være noe is i grunnen rundt jordrøret som må tines opp før vi får lufttemperaturer over frysepunktet etter jordrøret. Ved relativt høye dagtemperaturer og moderat vanninnhold i grunnen kan opptiningen skje relativt raskt.

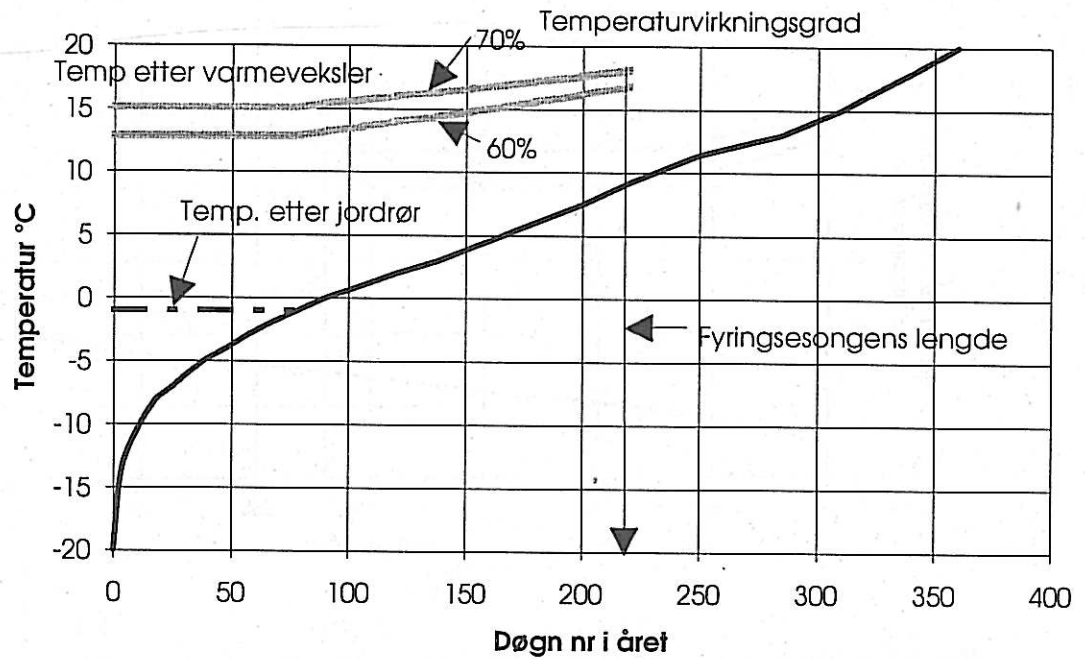


Fig. 5.1 b. Varighetskurve for utelufttemperaturens døgnmiddeltemperatur for Oslo, der lufttemperaturen etter det utvendige jordrøret og varmeveksleren er inntegnet. Den angitte temperaturvirkningsgraden gjelder selve varmevekslerenheten eksklusiv jordrøret.

Temperaturvirkningsgraden for hele forvarmings- og varmegjenvinningssystemet vil variere over fyringsesongen og være direkte avhengig av utelufttemperaturen. Figur 5.1 c viser samlet systemvirkningsgrad for jordrør og varmeveksler som funksjon av utelufttemperaturen. Her framgår her at jordrøret bidrar til å øke temperaturvirkningsgraden vesentlig når utelufttemperaturen ligger under frysepunktet. Integert over fyringsesongen vil jordrøret øke virkningsgraden for en varmeveksler med en temperaturvirkningsgrad på 60 % til 62,2 %. Tilsvarende øker temperaturvirkningsgraden for en varmeveksler med en virkningsgrad på 70 % til 71,6 %.

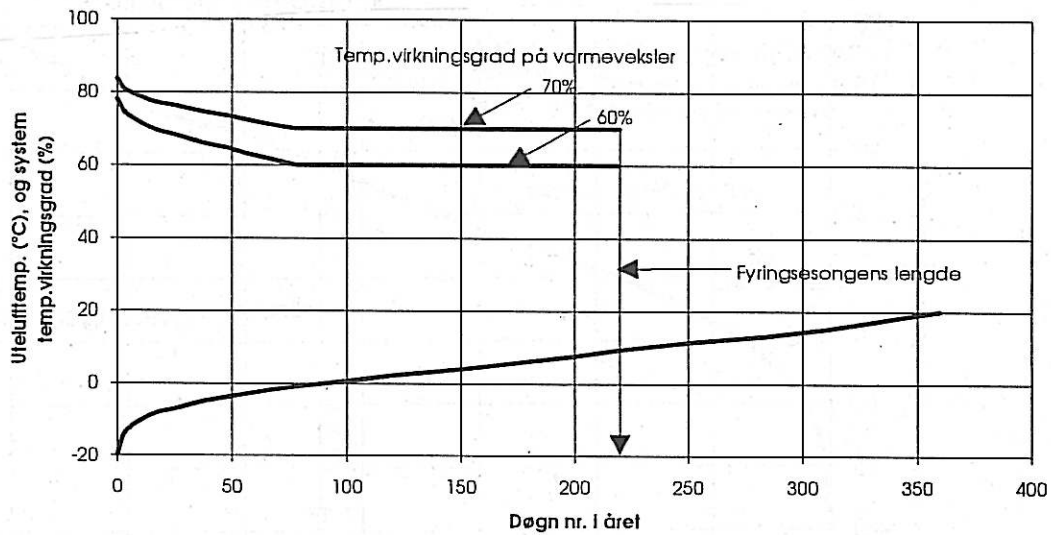


Fig. 5.1 c. Temperaturvirkningsgraden for forvarmingssystemet over fyringssesongen. Det er her forutsatt en minimum lufttemperatur etter jordrøret på $-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

I fig 5.1 d er lufttemperaturen etter varmeveksleren inntegnet med og uten bruk av jordrør. Varmeveksleren har en temperaturvirkningsgrad på 60 %. Figuren viser at jordrøret gir et vesentlig bidrag for å heve temperaturen i perioder med lave lufttemperaturer. I fig. 5.1 e er temperaturen etter varmeveksleren angitt med og uten jordrør når varmeveksleren har en temperaturvirkningsgrad på 70 %. Laveste temperatur etter varmeveksleren ligger da på ca. $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, som bør være den lavest akseptable temperaturen på tilluften.

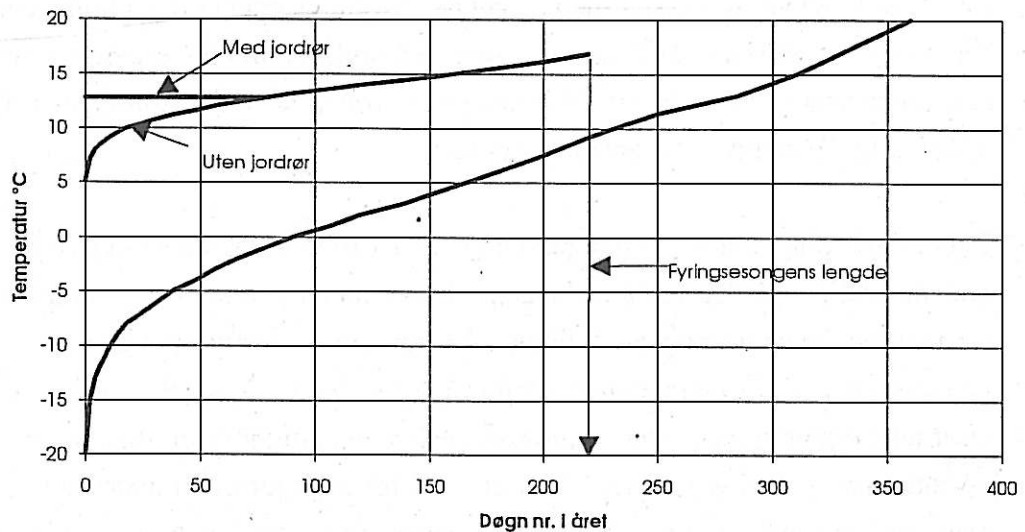


Fig. 5.1 d. Temperaturen etter varmeveksleren med og uten bruk av utvendig jordrør. Temperaturvirkningsgraden for varmeveksleren er 60 %

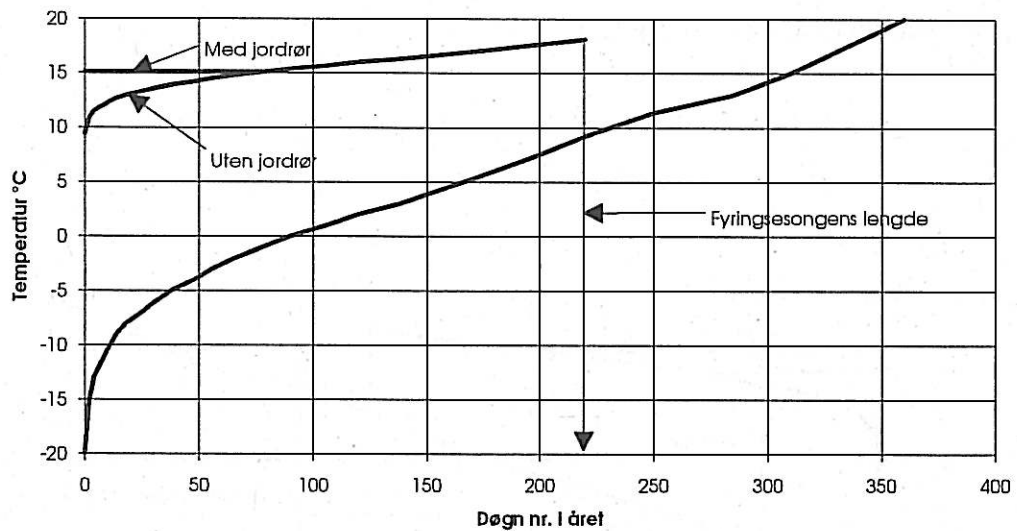


Fig. 5.1 e. Temperaturen etter varmeveksleren med og uten bruk av utvendig jordrør. Temperaturvirkningsgraden for varmeveksleren er 70 %

5.2 Varmeveksler med utvendig og innvendig jordrør

Som vist tidligere vil varmevekslerens overflateareal vokse eksponensielt med økende virkningsgrad. Derfor er det relativt kostbart og arealkrevende å bruke en varmeveksler med for høy temperaturvirkningsgrad. I en lavenergisammenheng er det ikke bare varmevekslerens virkningsgrad som er avgjørende for energibehovet. Vel så viktig

som å bruke en varmeveksler med meget høy virkningsgrad er det å bruke en behovsstyrt ventilasjon. Det man ev. taper på å bruke en mindre effektiv varmeveksler kan kompenseres ved redusert vifteenergi og eliminering av frostproblemer. Her er det også viktig at trykktapet i kanalnettet er lavt.

Det er også mulig å heve lufttemperaturen etter varmeveksleren og dermed systemvirkningsgraden ved å forlenge jordrøret under gulvet i boligen uten å øke varmevekslerens virkningsgrad. Figur 5.2 viser temperaturforløpet etter en varmeveksler med en temperaturvirkningsgrad på 60 % i forskjellig utførelse. Figuren viser temperaturen uten bruk av jordrør, med et utvendig jordrør, og et kombinert utvendig og innvendig jordrør. Vi ser at ved å forlenge jordrøret under boligen oppnår man omtrent samme temperatur etter varmeveksleren som om denne hadde en temperaturvirkningsgrad på 70 %. Vi har her forutsatt en høyeste temperatur etter jordrøret under boligen på 4,0 °C. Ved ytterligere å benytte en enkel form for behovsstyrt ventilasjon, f.eks. ved å kjøre halve døgnet med en grunnventilasjon på 0,4 luftvekslinger i timen og ellers med 0,7 luftvekslinger, blir ventilasjonstapet det samme som ved bruk av en tradisjonell utført varmeveksler med en virkningsgrad på ca. 90 % ved kontinuerlig drift, se fig. 2.1.

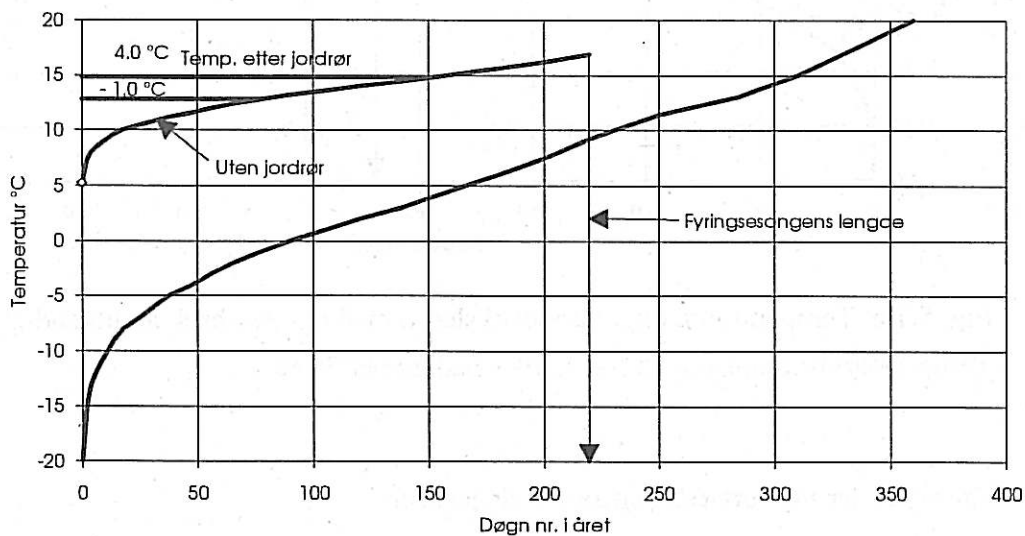


Fig. 5.2. Temperaturforholdene etter en varmeveksler med temperaturvirkningsgrad på 60 % uten bruk av jordrør, med eksternt jordrør og en kombinasjon av eksternt og internt jordrør

5.3 Temperaturer under sommerforhold

Med vanlige platevarmevekslere er det nødvendig å la ventilasjonsluften passere utenom varmeveksleren på varme dager. Man ønsker ingen ytterligere oppvarming av en allerede høy lufttemperatur når behovet er kjøling. Overtemperaturer i forbindelse med godt isolerte lavenergiboliger med store vindusflater er et problem som må løses. I sammenligning med en tradisjonell utførelse, vil en varmeveksler i kombinasjon med et jordrør ha en vesentlig gunstigere temperaturkarakteristikk under sommerforhold. Man kan neppe forvente høyere jordtemperaturer enn 12 - 15 °C på jordrørets nivå. I lengre perioder med høye døgnmiddeltemperaturer kan jordtemperaturene like ved innløpet stige noe høyere. Om våren med sterkt solinnfall gjennom vinduene som gir høye innelufttemperaturer, er døgnmiddeltemperaturen på uteluften ofte relativt lav. Det gir en mer effektiv avkjøling av tilluften i jordrøret.

Hvis vi antar en tilnærmet konstant jordtemperatur på 12 °C for jordmassene i grunnen utenfor boligen, vil endringen i temperaturdifferansen mellom jordmassene og lufttemperaturen i jordrøret være gitt av ligning (3). Ved å løse denne ligningen vil temperaturen på tilluften være gitt av:

$$t = t_{ute} + \Delta t \cdot e^{-\frac{L \cdot q_{jord}}{Q \cdot \rho \cdot c_p}} = t_{ute} + \Delta t \cdot e^{-\frac{L \cdot 8,8}{174/3 \cdot 600 \cdot 1,2 \cdot 1 \, 000}} \quad (12)$$

$$t = t_{ute} + \Delta t \cdot e^{-0,152 \cdot L}$$

Ved utelufttemperatur på 15 og 20 °C og en jordtemperatur på 12 °C, blir luften kjølt ned som funksjon av rørlengden, se fig. 5.3 a.

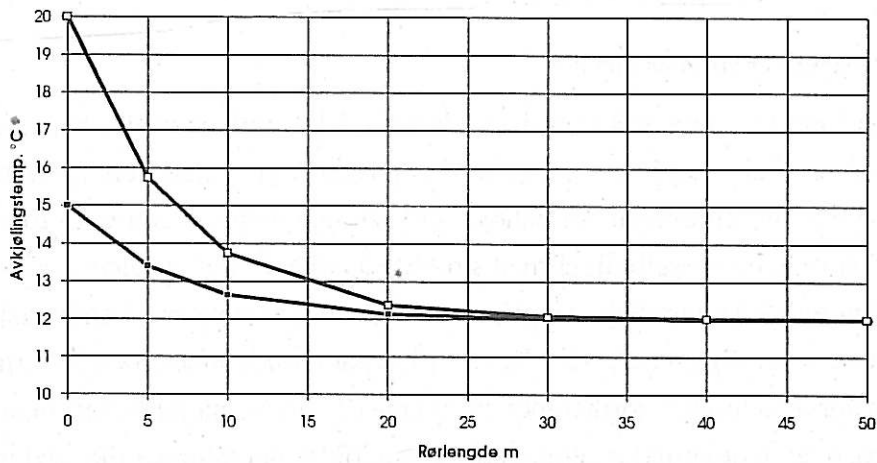


Fig. 5.3 a. Avkjøling av tilluften i jordrøret når jordtemperaturen er konstant $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ og utelufttemperaturen er 15 og $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Med en rørlengde på jordrøret på $20 - 30$ m kan vi anta at luften kommer inn i varmeveksleren med en temperatur som er meget nær jordtemperaturen, uavhengig av lufttemperaturen. Oppvarmingen av tilluften i varmeveksleren er dermed bare avhengig av romlufttemperaturen og varmevekslerens virkningsgrad, se fig. 5.3 b.

I fig. 5.3 b er lufttemperaturen etter varmeveksleren angitt for forskjellige avtrekkstemperaturer og temperaturvirkningsgrader for varmeveksleren. Det er forutsatt en konstant jordtemperatur for massene rundt jordrøret på $12\text{ }^{\circ}\text{C}$.

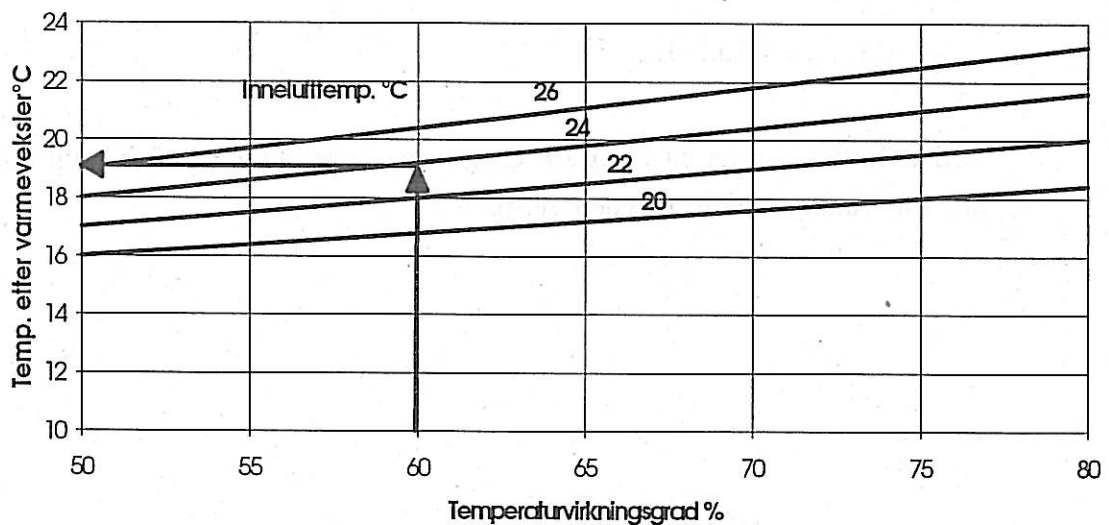


Fig. 5.3 b. Lufttemperaturen etter varmeveksleren for forskjellig temperaturvirkningsgrader og temperaturer på avtrekksluften når jordtemperaturen er forutsatt konstant lik $12\text{ }^{\circ}\text{C}$

Figur 5.3 b viser at det er en fordel å ikke ha for høy temperaturvirkningsgrad på varmeveksleren under sommerforhold. Hvis avtrekkslufttemperaturen er 24 °C, vil lufttemperaturen etter en varmeveksler med 60 % virkningsgrad ligge på ca. 19 °C, nær uavhengig av utelufttemperaturen. Hvis avtrekkstemperaturen er 22 °C, faller innblåsningstemperaturen til 18 °C. Jordrøret bidrar altså til å forbedre inneklimateet også under sommerforhold. Samtidig kan man kjøre anlegget over hele året uten omkoblinger.

På varme sommerdager med stor luftfuktighet kan det danne seg kondens i det utvendige jordrøret. Kondens er i prinsippet uønsket både fordi det reduserer energiomsetningen. Den frigjorte kondensasjonsvarmen tilføres luften og reduserer luftavkjølingen. Nå vil de fleste steder i Norge under sommerforhold ha relativt hurtige svingninger både i lufttemperaturer og luftens fuktighetsinnhold. Sannsynligheten er dermed liten for en permanent nedfuktning av jordrøret. For helt å unngå oppsamling av kondensvann i jordrøret kan man legge det utvendige jordrøret med fall og utføre det med et drenshull i lavpunktet. Det korrugerte røret må da erstattes med et rør med glatt indre overflate. Ved å kjøre anlegget permanent med dimensjonerende luftmengder og dermed større lufthastigheter i sommerhalvåret, blir grunnen varmet opp slik at man også på denne måten kan unngå kondens i røret. Under vinterforhold vil man ikke få kondens i jordrøret.

6 INSTALLASJONER I BOLIGEN

Figur 6 viser nødvendige installasjoner i boligen i tilknytning til forvarmingssystemet. Det framgår her at disse installasjonene tar vesentlig mindre plass inne i boligen enn et tilsvarende anlegg med en intern varmeveksler. Man står også noe friere når det gjelder kanalføringer i boligen spesielt i annen etasje da man unngår bruk av takhette. Aggregatet som delvis er basert på naturlige drivkrefter er plassert i annen etasje i tilknytning til soveromsseksjonen, se fig. 1.3. I dette tilfellet vil vifter og filtre være plassert i hovedetasjen. Man har da lett tilgjengelighet til vifter og filtre fra baderommet i hovedetasjen. Da varmeveksleren er plassert under gulvet er det ikke behov for kondensavledning fra varmeveksleren i boligen.

Det vil være mest hensiktsmessig at både til- og fralufts-røret kommer opp i en installasjonssjakt mellom kjøkken og baderom. Dette er gunstig både med hensyn til tilgjengelighet, støy, arealbehov og fleksibilitet for anlegg av fordelingskanaler.

Den enkleste og rimeligste løsningen er å bruke kanalvifter, en for avtrekk og en for tilluft. Viftene plasseres direkte i rørene. Til tross for at anlegget dimensjoneres for lave lufthastigheter bør man montere lydfeller på kanalene for å sikre et absolutt støysvakt anlegg. Dette anlegget med bruk av to vifter vil tåle noe større trykktap i fordelingsnett. Man kan da gå noe ned på kanaldimensjonene for lettere å tilpasse disse til bygningskonstruksjonen. Man har også senere muligheter for å utvide anlegget.

Viftene utføres med en enkel turtallsregulering av typen transformatorregulering e.l. som gir minimalt med støy. Minste luftmengde i referanseboligen ligger på 120 m³/h som svarer til 0.4 luftvekslinger i timen. Dimensjonerende luftmengde er satt til 0.7 luftvekslinger i timen eller 220 m³/h. Vifteturtallet kan f.eks. være styrt med et koblingsur med mulighet for manuell overstyring ved behov.

Forskjeller i trykktapene i til- og fraluftssystemet kompenseres ved å montere et spjeld i fraluftsrøret.

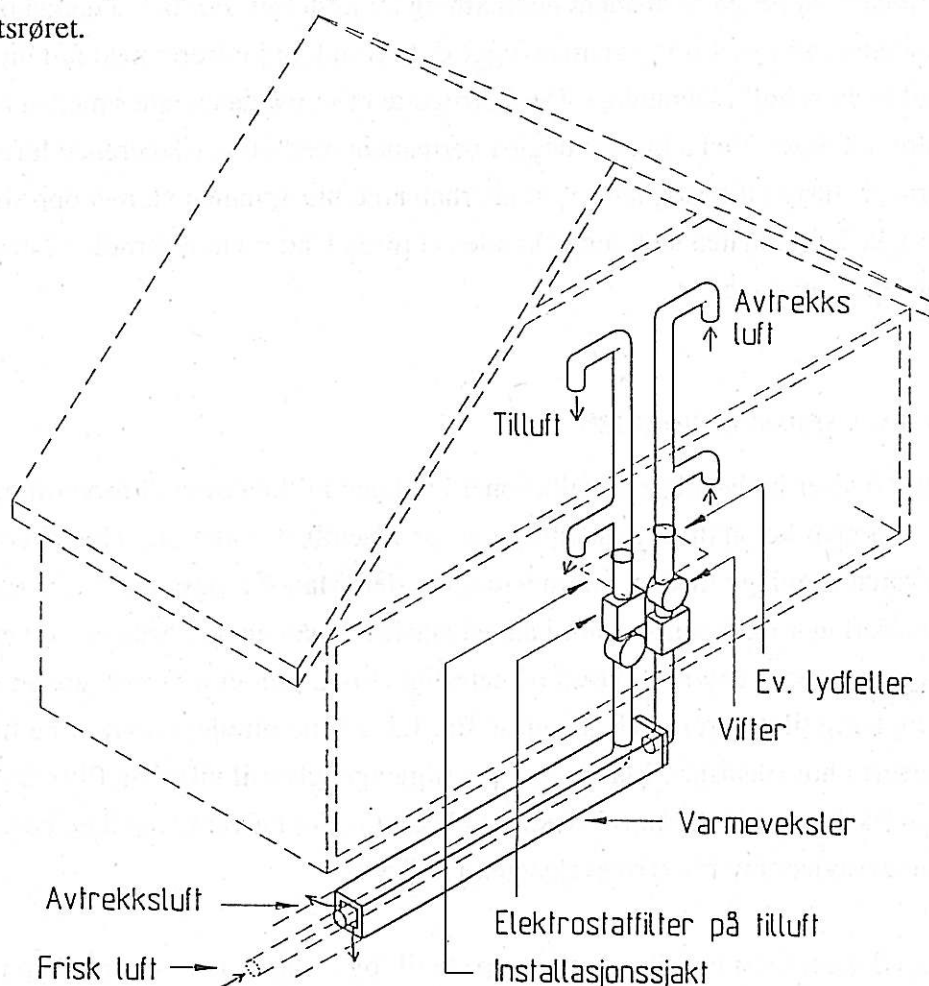


Fig. 6. Installasjoner inne i boligen i tilknytning til ventilasjonsanlegget med varmegjenvinning

Av fig. 6 fremgår det at det ikke er nødvendig å utstyre boligen med avtrekk over tak. Dette er en vesentlig kostnadsbesparelse, og gir en langt enklere og sikrere takkonstruksjon.

6.1 Luftfilter

Man kan bruke et elektrostatfilter på inntaksluften. I tillegg til høy utskillesesgrad for alle partikkelstørrelser gir dette filteret meget små trykktap. Det beste er om elektrostatfiltret kan plasseres nær luftinntaket for samtidig å hindre tilsmussing av tilluftsrøret. Plassering nær luftinntaket er spesielt viktig i områder med stor luftforurensing. Det er også mulig å kombinere et elektrostatfilter som plasseres inne i boligen med et grovfilter ved det utvendige luftinntaket. Grovfiltret kan f.eks. være et kanalfilter som plasseres direkte i røret, se fig. 6.1. Et elektrostatfilter er relativt arealkrevende og er avhengig av strømtilførsel. Det enkleste er derfor å plassere elektrostatfiltret beskyttet inne i boligen. Et grovfilter ved luftinntaket er tilstrekkelig for å redusere behovet for rengjøring av tilluftsrøret, men gir noe større trykktap. På avtrekkskanalen, som er vesentlig kortere enn tilluftsrøret, brukes et vanlig grovfilter.

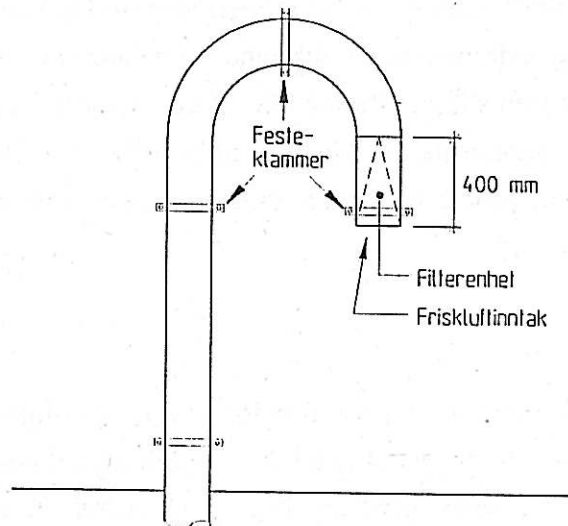


Fig. 6.1. Utvendig grovfilter plasseret direkte i luftinntaket for jordrøret

7 DRIFTSFORHOLD

Enkle driftsforhold er en absolutt forutsetning for at et ventilasjonsanlegg skal virke etter forutsetningene. Anlegget med jordrør tilfredsstiller disse forutsetningene og gir i tillegg god komfort over hele året. Det eksisterer ingen driftsproblemer på grunn av frost eller kondens som må fjernes. Varmegjenvinningsanlegget med jordrør kan med fordel kjøres over hele året. Ingen omkobling er nødvendig for å hindre at luften trekkes gjennom varmeveksleren under sommerforhold som for andre ventilasjonsanlegg med

varmegjenvinning. På varme sommerdager får man derimot en kjøling av tilluften, se fig. 5.3 b. Alle disse forholdene forenkler driften, som begrenses til skifte av filterelementer.

7.1 Rengjøring av tilluftsrøret

Man bør avsette et visst antall avgreninger på jordrøret som muliggjør inspeksjon og rengjøring av tilluftsrøret. Rengjøring kan f.eks. foregå ved å bruke av børster og støvsuger. Monterer man filter ved luftinntaket vil behovet for rengjøring av tilluftsrøret nær være eliminert.

7.2 Hygieniske forhold

For en varmeveksler med og uten bruk av jordrør vil det under vinterdrift ikke kunne oppstå hygieniske problemer som følge av fukt i tilluftsrøret. Under sommerdrift ved bruk av et eksternt jordrør som gir avkjøling av tilluften, kan man i perioder med høy lufttemperatur og luftfuktighet få noe kondens i jordrøret. Nå vil både luftfuktigheten og lufttemperaturen skifte relativt hurtig. Derfor får man ikke en permanent oppfuktning av jordrøret, men vil ha lengre perioder med effektiv uttørking av røret. Forøvrig er det mulig å drenere ut ev. fuktighet som dannes i røret, eller unngå kondens ved å øke lufthastigheten slik at tilluften blir mindre avkjølt. Fuktigheten man i perioder kan få i jordrøret, vil sannsynligvis ikke føre til begroing som kan skape hygieniske problemer. Hygieniske problemer med å bruke jordrør er ikke rapportert.

8 KOSTNADER

Et generelt grunnprinsipp for å utvikle rimelige lavenergiboliger, er at tilleggs kostnadene ved energisparetiltak i det vesentlige skal kompenseres ved forenklinger og integrering av tiltakene i bygningskonstruksjonen kombinert med direkte energibesparelser. I dette tilfellet skal et enkelt mekanisk ventilasjonsanlegg erstattes av et tilsvarende anlegg med mulighet for varmegjenvinning fra avtrekksluften for forvarming av tilluften. Det betyr at vi må bruke et balansert ventilasjonsanlegg med både tilluft og avtrekk.

Ventilasjonsanlegget med forvarming og varmeveksler består i prinsippet av et tilluftsrør som ligger i grunnen og i en isolasjonskasse. Røret inne i isolasjonskassen utgjør selve varmegjenvinneren, mens jordrøret skal sørge for forvarming/avkjøling av tilluften. Både tilluftsrøret og varmevekslerenheten kan ligge utenfor og under gulvet i boligen. Det er derfor en rekke parametre som kan varieres for å oppnå en

kostnadmessig optimal løsning, uten at dette har avgjørende betydning for anleggets funksjon. Stedlige forhold kan påvirke valg av utførelse.

Selve varmegjenvinneren med isolasjonskasse som har et innvendig rør, utgjør den mest kostbare delen av anlegget. Isolert sett bør derfor lengden på isolasjonskassen være kortest mulig. Ved å legge isolasjonskassen under gulvet kan den inngå som en del av gulvisolasjonen, og erstatter pukk/grusmaterialer samtidig som isolasjonskassen er mindre utsatt for mekaniske- og klimatiske belastninger. En isolasjonskasse i grunnen utenfor huset som må bygges opp av minimum 80 mm tykke isolasjonsplater for å få tilstrekkelig styrke og lavt varmetap. For kassen under gulvet er det derimot tilstrekkelig å bruke 60 mm tykke isolasjonsplater. Hvis man skal utnytte varmen som er magasinert i jordmassene under gulvet til å forvarme tilluften, er det viktig med minst mulig varmetapet fra disse massene til omgivelsene. Med en effektiv randisolasjon kan man gjenvinne store deler av transmisjonsvarmetapet fra gulvet til undergrunnen. Ved å plassere isolasjonskassen langs ringmuren blir denne forutsetningen oppfylt. God gulvisolasjon sikrer lavt varmetap og at man opprettholder god temperaturkomfort.

Det er mulig å la isolasjonskassen inngå og utgjøre en del av gulv- og ringmursisolasjonen. Nødvendig isolasjonsmengde for å få etablert isolasjonskassen vil dermed reduseres. Samtidig vil denne passeringen av isolasjonskassen forbedre gulvets randisolasjon betydelig. Isolasjonskassen vil da virke som et effektivt skjold mot varmetap fra massene innenfor ringmuren til omgivelsene. Dette er gunstig fordi varmetapet fra en gulv på grunnen fundamentering er størst i en ytre randsone mot ringmuren. Forbedret isolasjon i denne sonen gjør at man kan redusere tykkelsen på gulvisolasjonen og allikevel oppnå samme U-verdi for gulvet. Dette betyr i prinsippet at vi kan øke lengden på varmeveksleren, og dermed varmevekslerens virkningsgrad, og kompensere disse tilleggskostnadene ved å redusere tykkelsen på gulvisolasjonen. Med økt virkningsgrad for varmeveksleren har det liten hensikt å legge et jordrør under gulvet. Varmetapet fra gulvflaten blir dermed redusert. Hvis det er praktisk mulig bør man også i dette tilfellet bruke et eksternt jordrør, se Bilag 1.

8.1 Varmeveksler med jordrør under og utenfor boligen, fig. 3.2.2 a

En frittliggende isolasjonskasse med veggtykkelse 60 mm og innvendig bredde og høyde på 240 mm, har et forbruk av isolasjon på 0,072 m³/m. Med en pris på ekstrudert polystyren på ca. kr 1 200,- blir materialprisen kr 86,40 pr. meter. Hvis vi antar at prisen på ferdig lagt kasse er kr 130,- pr. meter, får vi følgende kostnad på

isolasjonskassen når det forutsettes en lengde på 25 m og prisen på pukk er satt til kr 120,- pr. m³:

Isolasjonskasse fratrukket redusert grus/pukk forbruk:

Isolasjonskasse: 25 · 130 =	kr 3,250,-
<u>Mindre grus/pukk: 0,13 · 120 · 25 =</u>	<u>" 390,-</u>
<u>Differanse</u>	<u>kr 2,860,-</u>

Til jordrør kan man bruke et kabelrør 180/200 mm i PVC plast som leveres i kveil på 40 m. Røret rulles ut i grunnen som et vanlig drenerør uten skjøter. Prisen på røret i innkjøp ligger på ca. 35 kr/m. For å få ned leggekostnadene for det eksterne jordrøret, er det viktig å bruke et felles grøftesystem eller å legge røret under en fylling hvis det skal foretas en planering av tomte. Fellesgrøft kan være grøfta for el. og signalkabler, VA-ledninger eller dremsledningen rundt boligen. Hvis det brukes en grunn fellesgrøft med VA-ledningene, skal disse frostisolerers. På grunn av lave temperaturer i jordrøret må det ikke legges for nær vannledningen hvis denne ikke er isolert. Valg av grøftesystem avhenger av grunnforholdene på stedet. I telefarlig grunn der gravekostnadene er små, er fellesgrøft med elkabelen gunstig. Da jordrøret kjøler ned grunnen, vil motstandstapet i elkabelen reduseres ved stor belastning.

Innenfor ringmuren er det enkelt å legge jordrøret, som vil erstatte pukk/grusmaterialer. Hvis vi antar en gjennomsnittlig pris på kabelrøret ferdig lagt på kr 45,- og vi har en samlet rørlengde på 60 m, blir samlede systemkostnader:

Varmeveksler og jordrør:	
60 m jordrør: 45,- · 60 =	2,700,-
<u>25 m isolasjonskasse:</u>	<u>2,860,-</u>
<u>SUM</u>	<u>5,560,-</u>

8.2 Varmeveksleren som en del av gulv- og ringmursisolasjonen

For å redusere varmetapet både fra massene under gulvet og fra varmeveksleren bør den ene kassevingen som utgjør ringmursisolasjonen være minimum 100 mm tykk.

Kasselokket kan være en del av gulvisolasjonen. Hvis det av praktiske grunner er hensiktsmessig med et eget lokk for å holde kassen sammen under monteringen, er det tilstrekkelig med en tykkelse på 50 mm. I telefarlig grunn vil kassebunnen inngå som en del av frostisolasjonen under ringmuren. Isolasjonen bør da ha en tykkelse på 100 mm.

Tilleggisolasjonen for å få etablert isolasjonskassen vil variere noe med utførelsen. Hvis vi i dette tilfellet antar at reelle kostnader med å etablere isolasjonskassen kan reduseres med 30 - 40 % i forhold til en frittliggende isolasjonskasse, gir det tilleggskostnader på ca. 75 kr pr. meter. Det er da tatt hensyn til reduksjon i pukkmengden innenfor ringmuren.

40 m isolasjonskasse 75,- · 40 =	kr 3,000,-
<u>60 m kabelrør (20 m i grunnen) 45,- · 60 =</u>	<u>" 2,700,-</u>
<u>SUM</u>	<u>kr 5,700,-</u>

Hvis man ikke bruker et eksternt jordrør, reduseres kostnadene til kr 4 800,-. Når det gjelder anleggskostnader, er de viste alternativene sammenlignbare. På grunn av forbedret ringmursisolasjon og ved å sløyfe jordrøret under gulvet, reduseres varmetapet fra gulvet. Man oppnår derfor en større energibesparelse ved å bruke ringmursløsningen. Denne løsningen vil dermed sannsynligvis totalt sett komme kostnadmessig best ut. Ringmursløsningen kan brukes uavhengig av om jordmassene er telefarlige eller ikke. Kostnadsoverslaget ovenfor forutsetter at man rent praktisk finner en enkel måte å få samordnet ringmursisolasjonen og isolasjonskassen på. Det vanlige er å montere ringmursisolasjonen etter at man har støpt ringmuren. Man kan også tenke seg en løsning der isolasjonsskassen inngår som en del av ringmursforskalingen. Dette bør være gjenstand for en videre produktutvikling.

8.3 Installasjoner i boligen

Installasjonene i boligen i direkte tilknytning til ventilasjonsaggregatet består av vifter, filtre og lydfeller. Installasjonene kan f.eks. ha følgende priser:

Kanalvifter med mulighet for enkel turallstyring og tidsbryter	kr 1,500,-
Elektrostat- og grovfilter	" 2,000,-
<u>Lydfeller</u>	<u>" 1,000,-</u>
<u>SUM</u>	<u>kr 4,500,-</u>

Disse installasjonene inngår for øvrig i de fleste anlegg med balansert mekanisk ventilasjon. Elektrostatfilteret vil her utgjøre en vesentlig kostnad. Man må derfor vurdere om slikt filter er nødvendig i enhver sammenheng. På grunn av gunstig beliggenhet av vifter og små lufthastigheter, vil det strengt tatt ikke være nødvendig å bruke lydfeller. Det er allikevel tatt med fordi de er relativt rimelige og gir en ekstra sikkerhet mot støy.

Som det framgår av fig. 6, vil anlegget med jordrør ikke kreve avtrekkshette over tak. En komplett avtrekkshette med isolerte kanaler og beslag inkludert bygningstekniske arbeider koster ca. kr 4.000,- - 5.000,- eller om lag det samme som vifter, filtre og lydfeller.

Skal en tradisjonelt utført varmegjenvinner plasseres inne i boligen, bør den ligge innenfor klimaskjermen, se fig. 1.3. Det krever at man avsetter min. 1,0 m² boligareal. I tillegg er det nødvendig med diverse bygningsmessige tiltak for å få bygd inn varmeveksleren, som må ha enkel tilgang for inspeksjon, rengjøring etc. Man må også legge opp muligheter for å avlede kondensvann. Hvis varmeveksleren har høy temperaturvirkningsgrad, må man iverksette tiltak for å unngå driftsproblemer på grunn av frost. Man kommer da hurtig opp i tilleggskostnader på kr 5 000,- eller mer, som vil ligge i samme størrelsesorden som kostnadene for jordrør og isolasjonsvarmeveksler.

Redegjørelsen viser at systemet med bruk av jordrør og isolasjonsvarmegjenvinner bør være meget konkurransedyktig i forhold til alternative løsninger med varmegjenvinning. Riktig utført bør det også kostnadmessig kunne konkurrere med et enkelt mekanisk ventilasjonsanlegg uten varmegjenvinning.

For å få ned total kostnadene til ventilasjonsanlegget er det viktig at det interne luftfordelingssystemet er så enkelt som mulig. Dette er spesielt ivaretatt i lavenergiboligen med meget korte kanalføringer på grunn av en sentral innføring av ventilasjonsluften og kostnadseffektiv planløsning, se fig. 1.3.

En annen fordel med anlegget med jordrør er at det bare er bygd opp av enkle og lett tilgjengelige komponenter som det ikke kreves spesialkompetanse for å montere. Anlegget kan f.eks. utføres av selvbyggere som en del av grunnarbeidene.

9. REFERANSER

1. NBI Byggetaljer G472.321 Lavenergiboliger
2. NBI Byggetaljer G472.325 Eksempel på lavenergibolig - Oslo klima
3. Gundersen, Per. Miljøvennlige, rimelig lavenergiboliger
Prosjektrapport 102. Norges byggforskningsinstitutt. Oslo 1992
4. Gundersen, Per. Rimelige lavenergiboliger, konseptutvikling
Prosjektrapport 150. Norges byggforskningsinstitutt. Oslo 1994

BILAG 1

1 VARMETAP FRA GULV PÅ GRUNNEN NÅR VARMEVEKSLEREN ER PLASSERT UNDER GULVET OG INNGÅR SOM EN DEL AV GULVISOLASJONEN

1.1 Generelt

For å sikre et lavt varmetap fra en gulv på grunnen konstruksjon, er det særlig viktig at randsonen mot ringmuren har god varmeisolasjon. Det er fra denne sonen at varmetapet er størst. Man kan unngå kuldebro i randsonen ved å legge kontinuerlig gulvisolasjon som forlenges under veggsvillen ved bruk av trykksterk isolasjon. Dette er en konstruksjon som tidligere er beskrevet i NBI-prosjektrapport nr. 150. Ved å isolere gulvet med 150 mm tykke isolasjonsplater vil varmetapet fra gulvet være meget beskjedent. I telefarlig grunn kan det være nødvendig å foreta en frostisolering for å sikre at frostsone blir liggende utenfor ringmuren. Frostisoleringen kan utføres på forskjellige måter avhengig av frostbelastningen der det alltid vil inngå en innvendig eller utvendig ringmursisolasjon med eller uten markisolasjon. Denne tilleggsisolasjonen vil påvirke og redusere gulvets varmetap og da spesielt i randsonen.

Når varmeveksleren er utformet som en isolasjonskasse, kan denne plasseres under gulvet. Denne plasseringen er gunstig av plasshensyn, men også fordi kostnadene med å etablere isolasjonskassen reduseres når kasseisolasjonen inngår som en del av gulv- og ringmursisolasjonen. Det er undersøkt hvilken innflydelse plasseringen av isolasjonskassen under huset kan ha på gulvet varmetap (U-verdi) totalt og i randsonen.

1.2 Beregningsgrunnlag

Det er foretatt simuleringer for å bestemme varmetapet fra forskjellige utførelser av gulv på grunnen konstruksjoner. På bakgrunn av stasjonære beregninger er det mulig å bestemme tilnærmede U-verdier for gulvet sett over året. Disse U-verdiene vil ikke nødvendigvis være i overensstemmelse med tilsvarende U-verdier bestemt av NS 3031. I NS 3031 er U-verdien for gulvet fastlagt på bakgrunn av varmetapet over fyringssesongen som igjen danner grunnlaget for forskriftskravet.

I beregningene er det forutsatt en konstant temperatur på 6,0 °C, 20 m nede i grunnen. Forholdene gjelder for Oslo klima der årsmiddeltemperaturen for utelufttemperaturen er 6,0 °C. Det er også regnet med en konstant utelufttemperatur på 6,0 °C.

Innelufttemperaturen er 20 °C. Da vi primært er interessert i relativte endringer i gulvets U-verdi avhengig av konstruksjonen, er U-verdiene angitt med stor nøyaktighet.

U-verdiene er beregnet under forutsetning av at det er brukt relativt godt varmeledende grus/silt-masser (varmeledningsevne 2,3 W/mK) som referansemasse i grunnen og under gulvet innenfor ringmuren. Det er også foretatt beregninger der grusmassene innenfor ringmuren, som har tykkelsen 300 mm, er erstattet med puk med varmeledningsevnen 0,6 W/mK.

Tykkelsen på gulvisolasjonen er 150 mm. Hvis det er brukt ringmursisolasjon eller annen frostisolering, har denne tykkelsen 100 mm. Det er ikke lagt vekt på å optimalisere isolasjonsbredder og tykkelser for denne tilleggsisolasjonen.

1.3 Varmetap fra gulv på grunnen konstruksjon i ikke telefarlig grunn uten ringmursisolasjon

Figur 1.3 a viser en prinsippskisse av en standardløsning med gulv på grunnen med bruk trykksterk isolasjon over ringmuren. Denne isolasjonen danner et kontinuerlig isolasjonssjikt med gulvisolasjonen. Gulvkonstruksjonen forutsetter ikke telefarlig grunn.

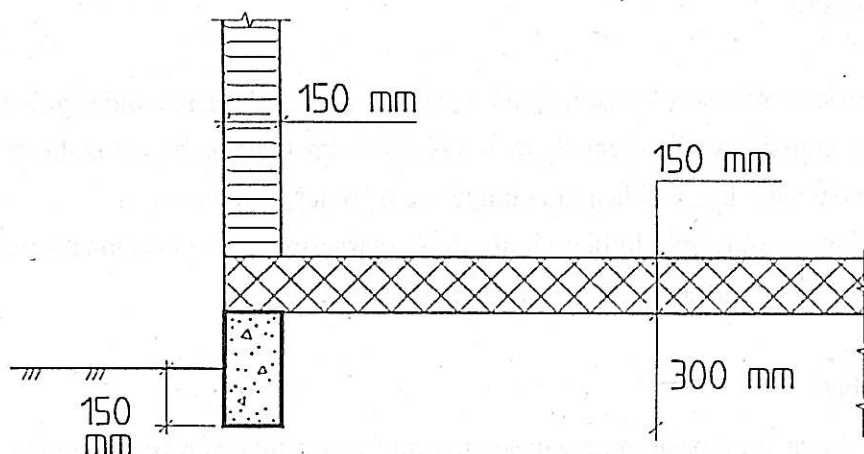


Fig. 1.3 a. Prinsippskisse av gulv på grunnen i ikke telefarlig mark. Gulvisolasjonen er 150 mm tykk og det er brukt trykksterk isolasjon over ringmuren som underlag for veggsvillen

Betongdekket kan i dette tilfellet f.eks. erstattes av en 22 mm sponplate som ytterligere vil forbedre gulvet U-verdi. I U-verdi beregningene er det ikke tatt hensyn til varmemotstanden i denne sponplaten. Figur 1.3 b viser beliggenhet av isothermene i grunnen for konstruksjonen vist på fig. 1.3 a under de angitte beregningsforutsetningene.

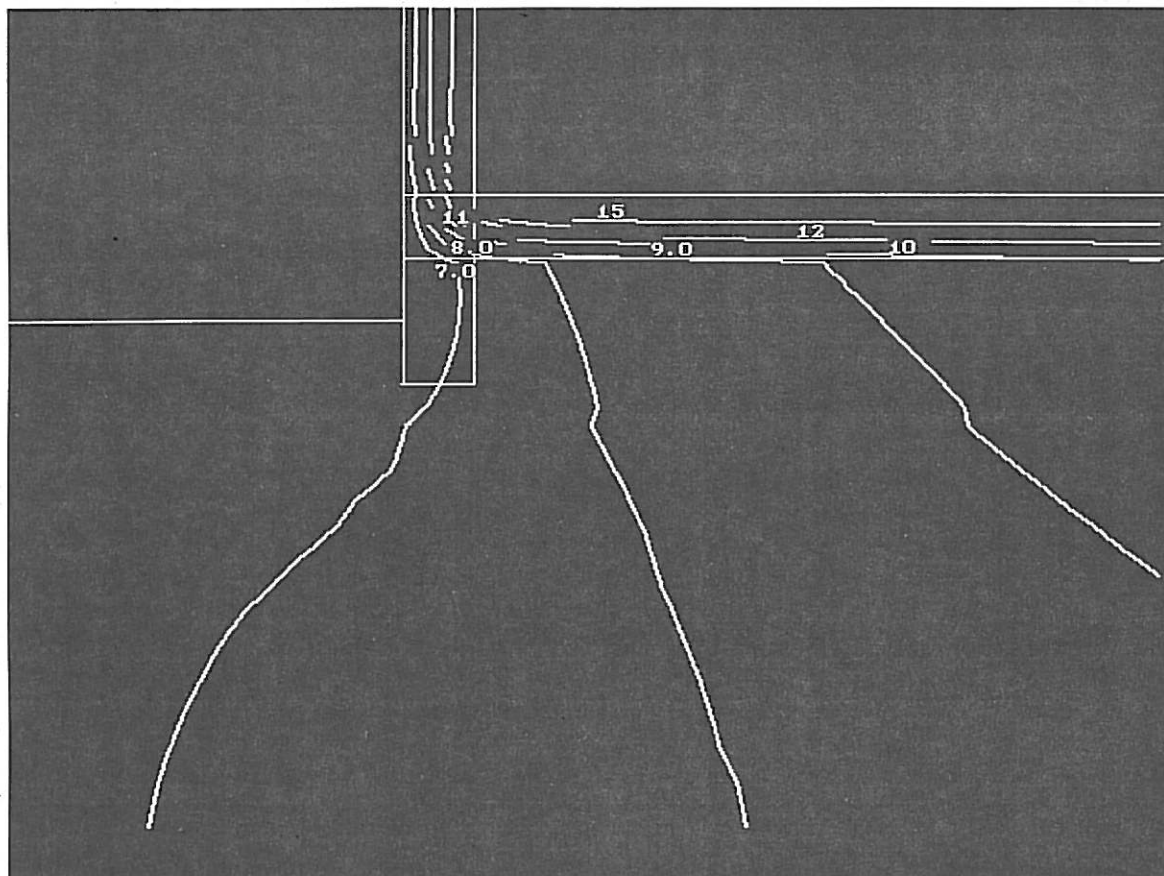


Fig. 1.3 b. Beliggenhet av isotermene i grunnen når det ikke er brukt ringmursisolasjon.

U-verdi beregninger

Tabell 1.3 a.

U-verdier for gulvkonstruksjonen fig. 1.3 a.

Grus under gulvisolasjonen, grus/silt i undergrunnen

	U-verdi (W/m ² K)
0 - 1 m fra yttervegg	0,178
Totalt for gulvflaten	0.159

Tabell 1.3 b.

U-verdier for gulvkonstruksjonen fig. 1.3 a.

Pukk under gulvisolasjonen, grus/silt i undergrunnen

	U-verdi (W/m ² K)
0 - 1 m fra yttervegg	0,171
Totalt for gulvflaten	0.150

Det fremgår av tabell 1.3 a og b at U-verdien ved husets randsoner er 12 - 14 % høyere enn gulvet gjennomsnittlige U-verdi. Ved å se på arealforholdene fremgår det at varmetapet i randsonen er ca. 45 % av gulvets samlede varmetap. Ved å erstatte gruslaget under gulvet med et pukklag med lav varmeldeningsevne, forbedres gulvets U-verdi med 6,0 %.

U-verdien i randsonen reduseres med 4.0 %. En ytterligere forbedring av gulvets randsoner U-verdi kan f.eks. oppnås ved å bruke ringmursisolasjon.

1.4 Varmetap fra gulv på grunnen konstruksjon med innvendig ringmursisolasjon

Figur 1.4 a viser en prinsippskisse av gulv på grunnen konstruksjon med innvendig ringmursisolasjon. Ringmursisolasjonen er 100 mm tykk og 300 mm høy. Denne konstruksjonen kan brukes i telefarlig grunn ved lav frostbelastning (Frostmengden $F < 15\ 000\ \text{h}^\circ\text{C}$). Ringmursisolasjonen bidrar også til å redusere varmetapet fra gulvet og da spesielt i randsonen. Et redusert varmetap i randsonen betyr høyere gulvtemperaturer i dette området.

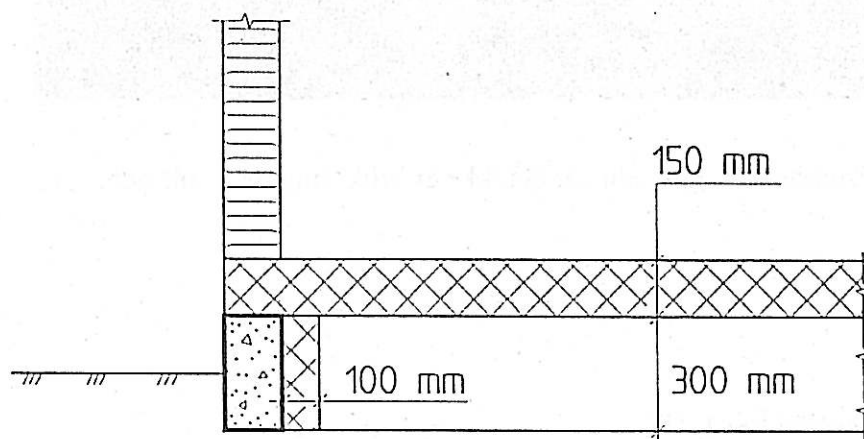


Fig. 1.4 a. Prinsippskisse av plate på grunn med innvendig isolert ringmur. Ringmursisolasjonen har tykkelse 100 mm og høyde 300 mm

Figur 1.4 b viser beliggenheten av isotermene i grunnen for gulvkonstruksjonen fig. 1.4 a under stasjonære forhold med de angitte temperaturforutsetningene. Materialerne under gulvisolasjonen er grus.

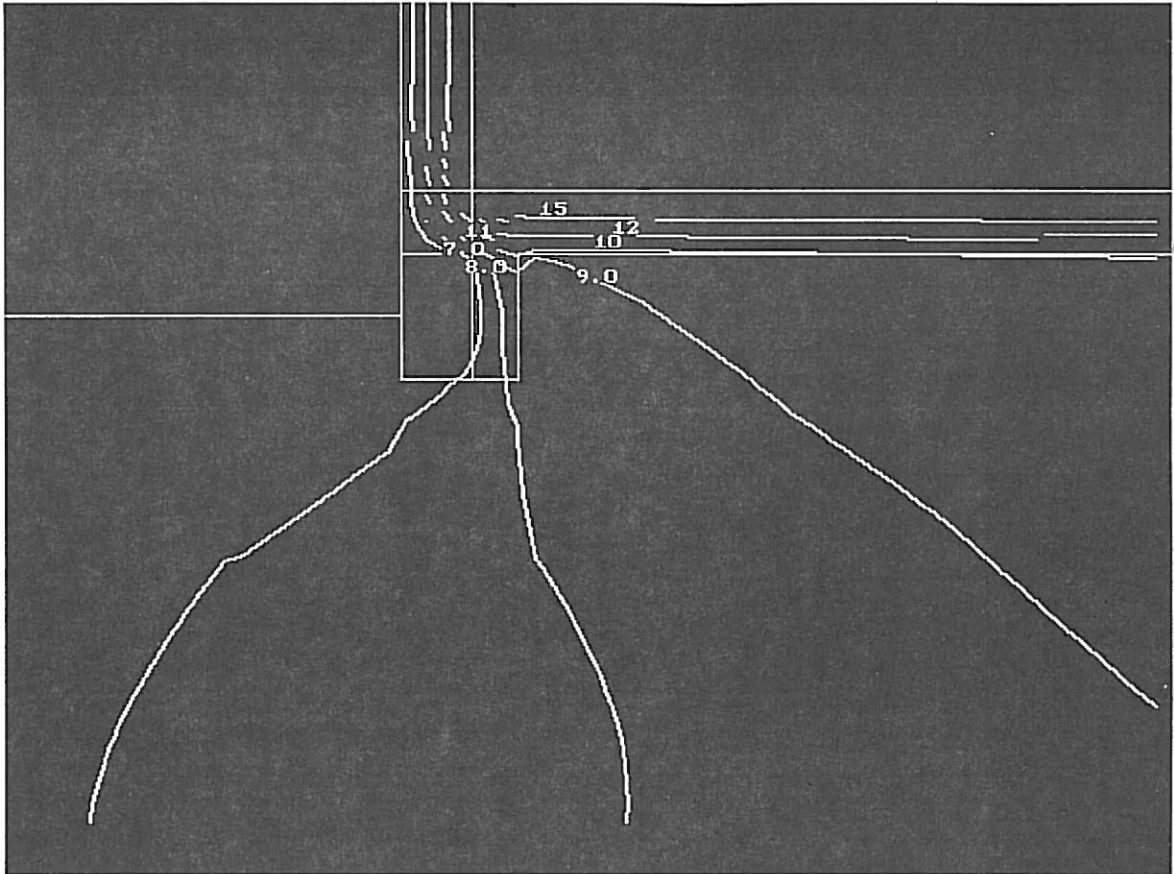


Fig. 1.4 b. Beliggenhet av isotermene i grunnen med innvendig isolert ringmur. Vegg- og gulvisolasjonen har tykkelse 150 mm og ringmursisolasjonen 100 mm

U-verdi beregninger

Tabell 1.4 a.

U-verdier for gulvkonstruksjonen fig. 1.4 a

Grus under gulvisolasjonen, grus/silt i undergrunnen

	U-verdi (W/m ² K)
0 - 1 m fra yttervegg	0,168
Totalt for gulvflaten	0.153

Tabell 1.4 b.

U-verdier for gulvkonstruksjonen fig. 1.4 a

Pukk under gulvisolasjonen, grus/silt i undergrunnen

	U-verdi (W/m ² K)
0 - 1 m fra yttervegg	0,161
Totalt for gulvflaten	0.145

Ved å isolere ringmuren oppnår man en reduksjon i gulvets gjennomsnittlige U-verdi på 3 - 4 % mens gulvets randsone U-verdi reduseres med ca. 6 %. Igjen er det en fordel å bruke pukk innenfor ringmuren. Ved å erstatte grusmassene innenfor ringmuren med pukk, redusere gulvets gjennomsnittlige U-verdi med 5,5 %, mens randsone U-verdien reduseres med 4,3 %. Ved å bruke ringmursisolasjon og erstatte grusmassene innenfor ringmuren med pukk reduseres husets gjennomsnittlige og randsone U-verdi med ca. 10 %.

Ved å se på plasseringen av isotermene i fig. 1.3 b og 1.4 b fremgår det at ringmursisolasjonen bidrar til å heve temperaturen innenfor ringmuren. Også i ikke telefarlig grunn kan det derfor være nødvendig å bruke en ringmursisolasjon for å frostsikre evt. bunnledninger og vannoppstikk.

1.5 Varmetap fra gulv på grunnen konstruksjon med frostisolering

I telefarlig grunn er det nødvendig å foreta en frostsikring av ringmuren. Figur 1.5 a viser en gulv på grunnen konstruksjon i moderat kaldt klima. Ringmuren er her satt på en trykksterk isolasjon. I tillegg er det brukt en innvendig ringmursisolasjon. På grunn av beskjedent varmetap fra gulvet, kan det være nødvendig å bruke noe bredere horisontal isolasjonsplate i områder med mer kaldt klima. Tilsvarende frostsikring som vist på fig. 1.5 a kan man også oppnå med en utvendig ringmursisolasjon kombinert med en horisontal markplate. Man unngår da å sette ringmuren på en isolasjonsplate som krever relativt nøyaktige grunnarbeider. Utvendig ringmursisolasjon må ha en form for mekanisk beskyttelse.

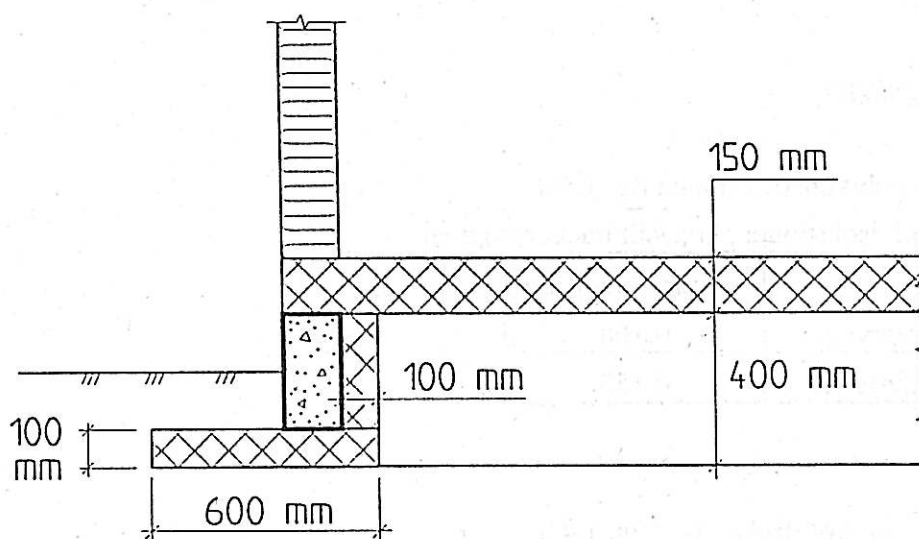


Fig. 1.5 a. Prinsippkisse av gulv på grunnen utførelse i moderat kaldt klima med frostisolering. Tykkelsen på ringmur- og markisolasjonen er 100 mm

Figur 1.5 b viser beliggenhet av isotermene i grunnen for gulvkonstruksjonen i fig. 1.5 a. Beregningsforutsetningene er som i tidligere viste eksempler med grus/silt i grunnen.

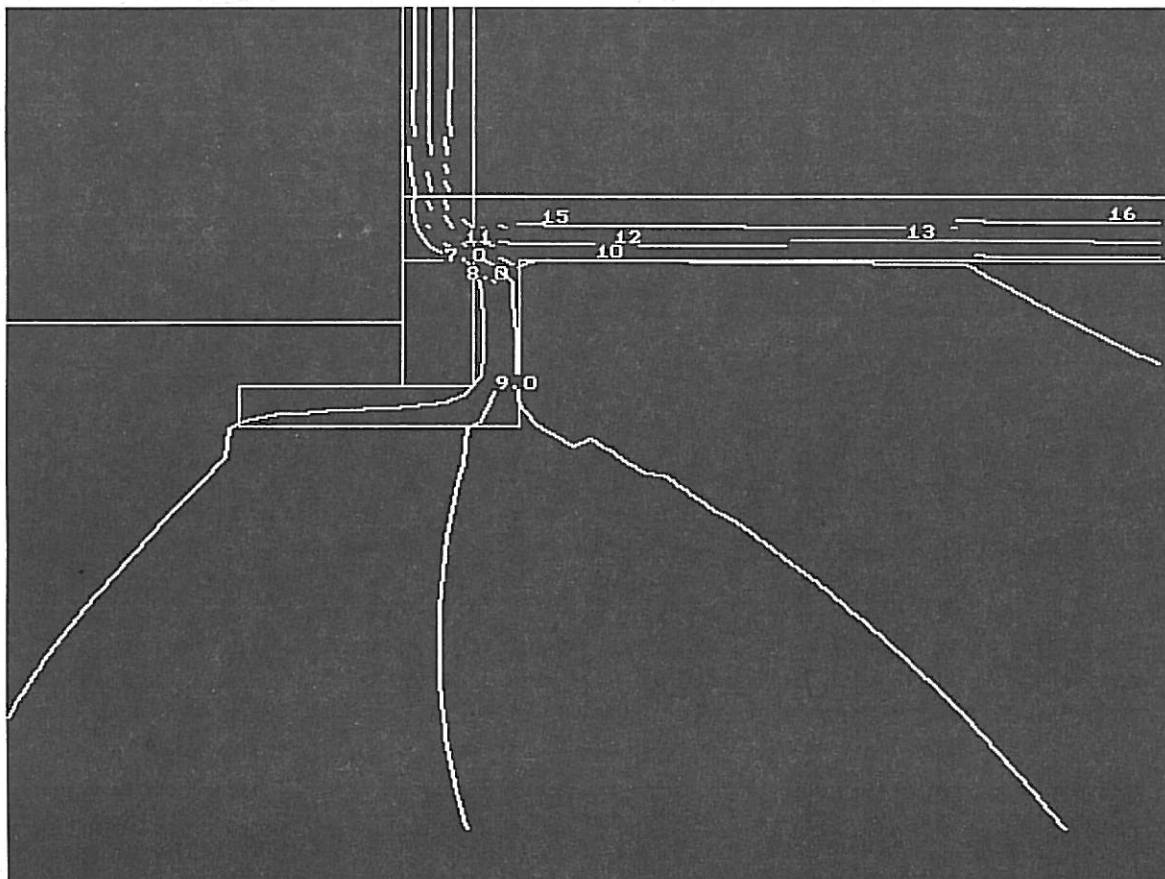


Fig. 1.5 b. Beliggenhet av isothermene i grunnen for en frostisolert gulv på grunnen konstruksjon. Ringmursisolasjonen og markisolasjonen har en tykkelse på 100 mm

Beliggenheten av isothermene viser at markisolasjonen bidrar til å heve jordtemperaturene under ringmuren. For å undersøke fundamentets frostsikkerhet må det foretas tilleggsberegninger under mer ekstreme temperaturforhold. Disse beregningene er nødvendig da dagens anvisninger for frostsikring ved telefarlig grunn (Byggdetaljer A 521.111) forutsetter et vesentlig større varmetap fra gulvet. Disse anvisningene gjelder bare når gulvisolasjonen har en maksimal tykkelse på 100 mm.

I denne forbindelse er det særlig frostisolasjonens innflydelse på gulvets varmetap som er undersøkt.

U-verdi beregninger

Tabell 1.5 a.

U-verdier for gulvkonstruksjonen fig. 1.5 a

Grus under gulvisolasjonen, grus/silt i undergrunnen

	U-verdi (W/m ² K)
0 - 1 m fra yttervegg	0,167
Totalt for gulvflaten	0.149

Tabell 1.5 b.

U-verdier for gulvkonstruksjonen fig. 1.5 a

Pukk under gulvisolasjonen, grus/silt i undergrunnen

	U-verdi (W/m ² K)
0 - 1 m fra yttervegg	0,156
Totalt for gulvflaten	0.141

Ved å bruke en horisontal markisolasjon som frostisolering fig. 1.5 a, oppnår man ytterligere en reduksjon på ca. 3 % i gulvets gjennomsnittlige U-verdi. Dette er sett i forhold i gulvkonstruksjonen med isolert ringmur, fig. 1.4 a. Samtidig oppnår man en vesentlig endring i isotermeenes beliggenhet i husets randsone som er av avgjørende betydning for fundamentets frostsikkerhet. Ved å erstatte grusen innenfor ringmuren med pukk, reduseres gulvets gjennomsnittlige U-verdi med ca. 6 %.

1.6 Varmetap fra gulv på grunnen konstruksjon når varmeveksleren er plassert under gulvet

Figur 1.6 a viser en prinsippkisse der varmeveksleren (isolasjonskasse med innvendig rør) er plassert under huset langs husets randsoner. Kasseisolasjonen, som utgjør et vesentlig element i varmeveksleren, inngår i gulvets frost- og gulvisolasjonen. Isolasjonstykkelsen på kassens sidevanger og bunn er 100 mm, mens lokket som er en del av gulvisolasjonen er 150 mm tykk.

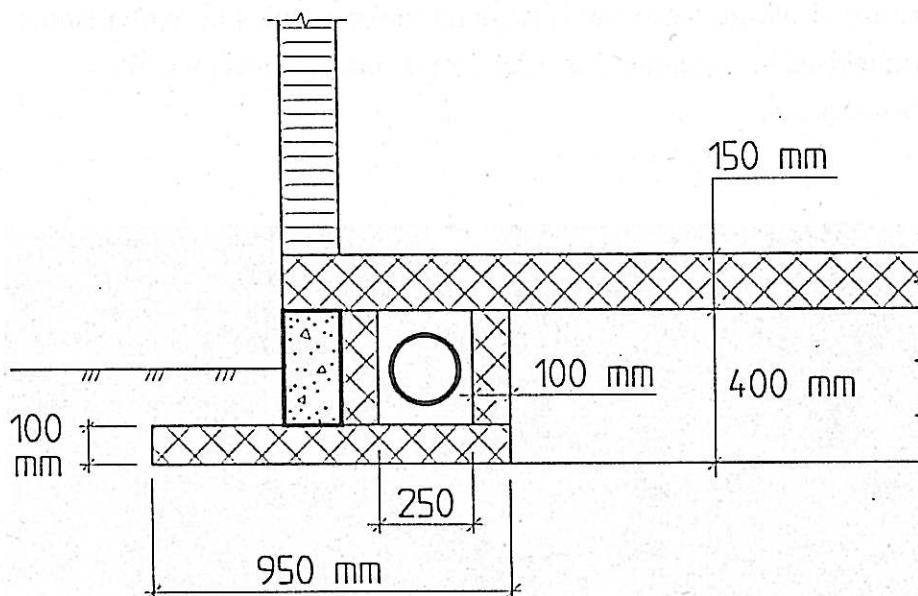


Fig. 1.6 a. Prinsippkisse av en løsning der varmeveksleren (isolasjonskassen) er plassert under gulvet.

Varm avtrekksluft slippes inn i isolasjonskassen og strømmer i spalten mellom tillufts-røret og kasseveggene. Avtrekksluften kommer normalt inn i kassen med en temperatur t_3 på $22\text{ }^\circ\text{C}$. Temperaturen på avtrekksluften når denne strømmer ut av kassen vil være avhengig av varmevekslerens temperaturvirkningsgrad η og om det brukes jordrør. Hvis det brukes jordrør, vil laveste temperatur på tilluften t_1 før denne kommer inn i røret i isolasjonskassen f.eks. være $-2,0\text{ }^\circ\text{C}$. Når varmevekslerens temperaturvirkningsgrad η settes til 70% , vil laveste temperatur på avtrekksluften t_4 når denne forlater isolasjonskassen være:

$$t_4 = t_3 - \eta \cdot (t_3 - t_1) = 22 - 0,7 \cdot (22 + 2) = 5,2\text{ }^\circ\text{C}$$

Laveste middeltemperatur t_m inne i isolasjonskassen er da:

$$t_m = (5,2 + 22)/2 = 13,6\text{ }^\circ\text{C}$$

Hvis det ikke brukes jordrør og inntakstemperaturen på tilluften nå denne kommer inn i røret i isolasjonskassen er $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, vil laveste temperatur på avtrekksluften være $-0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Laveste middeltemperatur inne i isolasjonskassen vil da være $10,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figur 1.6 b viser beliggenhet av isothermene når isolasjonskassen utgjør en del av gulvisolasjonen. Beregningsforutsetningene er som i de tidligere viste eksemplene. Balansetemperaturen inne i isolasjonskassen er bestemt under forutsetning av at tilluftsrøret inne i isolasjonskassen ikke påvirker temperaturbildet. Det er forutsatt grus innenfor ringmuren under gulvisolasjonen.

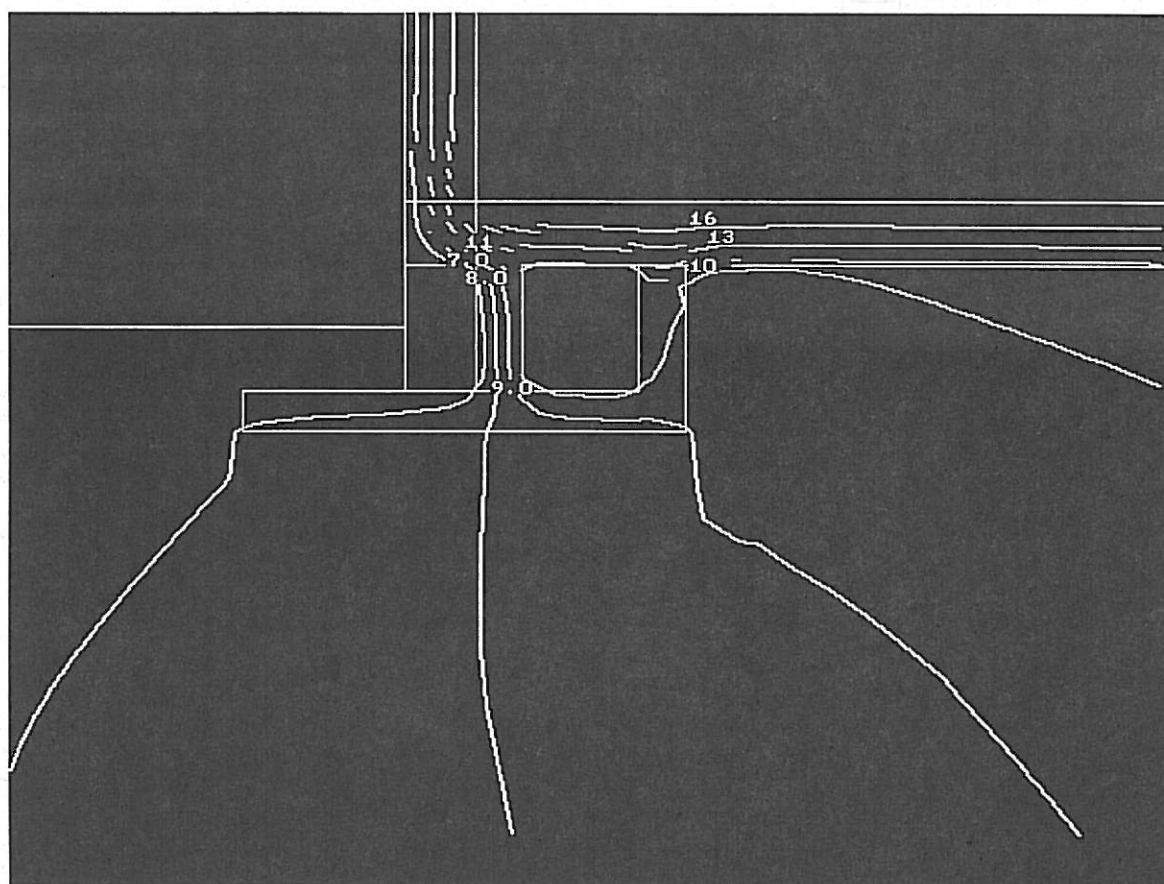


Fig. 1.6 b. Beliggenhet av isothermene i grunnen for en gulv på grunnen konstruksjon der varmeveksleren (isolasjonskassen) ligger under gulvet og inngår i gulvisolasjonen. Veggtykkelsen i isolasjonskassen er 100 mm der lokket er en del av gulvisolasjonen som har tykkelsen 150 mm

Med de angitte beregningsforutsetningene, fremgår det av fig. 1.6 b at balansetemperaturen inne i isolasjonskassen omtrent ligger på 10 ° C. Det er foretatt tilnærmede U-verdi beregninger på dette grunnlaget.

U-verdi beregninger

Tabell 1.6 a.

U-verdier for gulvkonstruksjonen fig. 1.6 a

Grus under gulvisolasjonen, grus/silt i undergrunnen

	U-verdi (W/m ² K)
0 - 1 m fra yttervegg	0,153
Totalt for gulvflaten	0.145

Tabell 1.6 b.

U-verdier for gulvkonstruksjonen fig. 1.6 a

Pukk under gulvisolasjonen, grus/silt i undergrunnen

	U-verdi (W/m ² K)
0 - 1 m fra yttervegg	0,148
Totalt for gulvflaten	0.138

Tabell 1.6 a viser at ved å legge isolasjonskassen langs ringmuren, oppnår man en ytterligere reduksjon av gulvets gjennomsnittlige U-verdi på 2 - 3 %. Det er da sammenlignet med en frostisolert løsning som vist på fig. 1.5 a. Randsone U-verdien reduseres tilsvarende med 6 - 9 % avhengig om det er brukt pukk eller grus innenfor ringmuren.

I forhold til en uisolert ringmursløsning, vil reduksjonen i gulvets gjennomsnittlige U-verdi i dette tilfellet være 9 - 10 %. Tilsvarende vil randsone U-verdien reduseres med ca. 16 %. For en godt isolert lavenergibolig med et generelt lavt varmetap fra gulvet, vil denne reduksjonen i gulvets gjennomsnittlige U-verdi bety årlige energibesparelser i størrelsesorden 100 kWh.

En forbedring av gulvets randsone U-verdi kan imidlertid være vel så viktig som rene energibesparelser. Man oppnår da en vesentlig bedre komfort på grunn av høyere gulvtemperaturer i gulvets randsone. Når kasseisolasjonen kombineres med en horisontal markisolasjon, oppnår man samtidig en frostsikker fundamentløsning med et meget beskjedent varmetap.

Hvis det brukes et jordrør som hever inntakstemperaturen på tilluften før denne kommer inn under huset, vil samlet varmetapet fra gulvets randsone ytterligere reduseres. Varmetapet fra randsonen vil variere over lengden av varmeveksleren. Når luftinntaket for avtrekksluften der avtrekksluften har temperaturen 22 °C, vil man få et varmetilskudd til gulvet fra varmeveksleren. Tilsvarende vil det være noe større varmetap ved utløpet. Hvis det er mulig, bør inntaket for avtrekksluften i varmeveksleren plasseres slik at man får størst mulig utnyttelse av dette varmetilskuddet (f.eks. under vinduer i stuen).

1.7 Konklusjon

Ved å legge varmeveksleren (isolasjonskassen) under gulvet og la denne inngå som en del av gulvets varme- og frostsolering, oppnår man flere fordeler. Man unngår å oppta knappe arealressurser i boligen. Kostnadene med å etablere isolasjonskassen reduseres, samtidig som man får en effektiv frostsikring av fundamentet. Denne plasseringen reduserer også varmetapet fra gulvet og da spesielt varmetapet fra husets randsone. Størst reduksjon i varmetapet fra gulvet får man ved å bruke pukkmasser innenfor ringmuren og ved å forvarme tilluften ved hjelp av et eksternt jordrør før denne trekkes inn i varmeveksleren under huset.

