

SIG 0101 Ekspert i Team

Geotermiske varmepumper i eneboliger

En teknisk beskrivelse og vurdering av muligheter og lønnsomhet

Gruppe 1:

**Maj Gøril S. Glåmen
Liv Judith Helle
Rasmus Z. Høseggen
Phong Van Le
Kristina Stokkeland**



FORORD

Utgangspunktet for denne rapporten er det tverrfaglige prosjektfaget 'Eksperter i Team' ved NTNU, som ble gjennomført våren 2002. Grappa er sammensatt av studenter med vidt forskjellig faglig bakgrunn, med en representant fra hvert av de følgende linjer: bygg og anlegg, energi og miljø, maskinteknikk samt to fra petroleumsteknologi og anvendt geofysikk.

Vi vil takke landsbyhøvding professor Kai Nilsen for gode tips og råd, Randi Kalskin fra NGU for vennlig bistand, samt SINTEF-ansatt Jørn Stene ved KKT, professor Kåre Rokoengen og førsteamanuensis Jostein Pettersen ved NTNU. Også Nils Veslegard i Hallingdal Bergboring fortjener en takk.

Trondheim, 24.04.02

Rasmus Z. Høseggen

Kristina Stokkeland

Phong Van Le

Liv Judith Helle

Maj Gøril S. Glåmen



Sammendrag

Energisituasjonen i Norge er unik. Med rikelig tilgang på både vannkraft, olje og gass, har landet etablert seg som eksportør på det europeiske energimarkedet. Det er likevel rom for flere energiforsyningsmetoder. I denne rapporten drøftes spørsmålet om varmepumper er et egnet alternativ for boligoppvarming. Vi har i Norge en lang og relativt kald vinter, og årlig oppvarmingsbehov til boliger ligger rundt 25 TWh. Varmepumper kan derfor i utgangspunktet være et godt alternativ til vann- og romoppvarming. Dessuten kan også varmegjenvinning fra ventilasjonsluft være en anvendelse.

En varmepumpe kan ta opp eller fjerne varme fra et sted med lav temperatur og pumpe eller avlevere den til et sted med høyere temperatur. Hovedkomponentene er fordampere, kompressor, kondensator og strupeventil. Et arbeidsmedium sirkulerer gjennom kretsen dannet av de fire nevnte bestanddelene. Med berggrunnen som varmekilde bores det en energibrønn utenfor bygningen. I brønnen installeres det så en helsveis plastslange som fylles med en frostsikker væske, og som dermed utgjør en lukket krets mellom borehullet og varmepumpen.

Ved boring av en energibrønn finnes det en rekke anvendelige teknologier. Det finnes to typer rigger; hydraulisk- og luftdrevet. I tillegg kan man velge mellom senkhammer- og topphammerboring. Valg av metode og rigg avhenger blant annet av hulldybde, hulldimensjon, formasjon rundt brønnen.

Installasjon av varmepumpe innebærer et stort potensiale for energisparing, og kan derfor bli en viktig del av fremtidens energisystem. Med en trend som peker mot energibærere med lavere CO₂-innhold, og kraftverksprosesser med høyere virkningsgrad, kan varmepumpen styrke sin posisjon som et miljøvennlig energiforsyningsalternativ i årene som kommer. På verdensbasis står varmepumper i dag for en reduksjon av drivhusgasser på ca 0,5 %, men det er et betydelig potensial for ytterligere reduksjon.

Som et resultat av stigningen i oljeprisene i 1974, og den påfølgende økonomiske nedgangstiden i de vestlige land, ble varmepumper for alvor introdusert som en miljøvennlig energikilde. Flere pionerprosjekter ble satt i gang.

Det ble spådd en stor utbygging av varmepumper i forbindelse med fjernvarmeanlegg. Likevel kom et tilbakeslag på åttitallet, sannsynligvis på grunn av mangel på kombinasjonen av teknisk og praktisk kompetanse. For å komme ut av denne bølgedalen satte Energi- og industridepartementet i gang en større opplysningsarbeid. Det viste seg likevel å være for lite rettet mot forbrukere eller entreprenører, og på slutten av åttitallet hadde man ikke lyktes i å dyrke fram noen egen norsk varmepumpeindustri.

I 1989 startet en nyorientering med det resultat at staten i 1993 subsidierte varmepumpeinstallasjoner med 40%. På tross av denne satsingen nådde man ikke målsetningen som var satt med hensyn på energibidrag fra varmepumper til det totale nasjonale forbruket. I 1993 ble statsstøtten til varmepumpeinstallasjoner stanset.

Sverige har i dag 300 000 installerte varmepumper, og det installeres flere i Sverige per år enn det Norge totalt sett har. Faktorer som økonomi, teknologi, miljø, energipolitikk, hindringer og holdninger er årsaker som spiller inn. I et makroøkonomisk perspektiv kan installasjon av geotermiske varmepumper synes økonomisk forsvarlig. For den enkelte forbruker kan den



også være lønnsom, men tilbakebetalingstiden vil da for de fleste bli for lang, og dermed et uaktuelt alternativ. Særlig er dette tilfelle dersom brønnen må bores gjennom tykke lag med løsmasser. En slik boreoperasjon krever utbredt bruk av foringsrør, som utgjør den største kostnaden i budsjettet for en energibrønn.

Forbrukere har generelt lite kunnskaper om varmepumpens tekniske funksjon, og dette kan være en barriere for eventuell anskaffelse. Vannkraft er en ren og fornybar energikilde, og forbrukere ser derfor ikke den miljømessige nytteverdien av å erstatte elektrisk oppvarming.

Svensk energipolitikk inneholder en strukturert satsing på varmepumper og vannbåren varme. I Norge er det vanlig å ha installert elektrisk oppvarmingsanlegg i form av panelovner i boliger, og ombygging til vannbåren varme vil medføre store kostnader.

Som et enkelt hjelpemiddel for å beregne kostnader og lønnsomhet i forbindelse med installasjon av en geotermisk varmepumpe, har vi programmert et beregningsverktøy i Java, kalt VP-kalkis. Ved å angi boligens alder, geografisk beliggenhet og boligareal kan en få estimert investeringens nåverdi og tilbakebetalingstid. Kjenner en i tillegg faktorene berggrunnsforhold, strømpris, kalkulasjonsrente, varmepumpefaktor og varmepumpens levetid kan man få en mer nyansert beregning.

Beregninger utført med VP-kalkis viser at det er vanskelig å si noe generelt om lønnsomheten av en varmepumpeinstallasjon. Siden så mange faktorer spiller inn, må hvert enkelt tilfelle beregnes for seg.

Av aktuelle virkemidler for å øke antallet varmepumper i Norge, er blant annet den tradisjonelle økningen av elprisen. En kan likevel ikke si at økte strømpriser vil medføre installasjon av flere varmepumper, selv om lønnsomheten relativt sett blir bedre. Skatteletter på lån for investering i varmepumpe er en belønning som kan fungere bedre. Ellers kan direkte støtte til installasjoner gjøre det mer attraktivt.

Norge er i utgangspunktet et ideelt land for utstrakt bruk av varmepumper. Det relativt milde klimaet og god tilgang til stabile varmekilder gjør at Norge har et stort potensiale som ennå holdninger blant folk flest, kan det være en stor framtid for bruk av varmepumper i Norge.



Innhold

1	INNLEDNING	5
2	ENERGI OG FRAMTID	7
2.1	STATUS FOR ENERGIBRUK I NORGE I DAG	7
2.2	VARMEPUMPEPOTENSIALET I NORGE	7
3	TEKNIKKEN BAK VARMEPUMPER.....	8
3.1	FORMULERING AV EN VARMEKRAFTMASKIN	8
3.2	ARBEIDSMEDIER	9
3.3	KRITERIER FOR VALG AV ARBEIDSMEDIUM.....	12
3.4	JORD SOM VARMEKILDE.....	14
3.5	BERG SOM VARMEKILDE	15
3.6	ANDRE VARMEKILDER	16
3.7	TEKNISKE LØSNINGER VED BORING AV ENERGIBRØNNER	17
3.8	BORING OG RØRDRIVING GJENNOM BERG OG JORDLAG	19
3.9	INSTALLASJON AV SLANGE I BOREHULL.....	20
3.10	TETTING OG GJENFYLLING AV BOREHULL	20
3.11	HYDRAULISK SPLITTING	21
3.12	INSTALLASJON AV JORDVARMEPUMPER.....	21
4	VARMEPUMPER OG MILJØ.....	22
4.1	FREMTIDENS ENERGISYSTEM	22
4.2	INNEMILJØ	22
4.3	VARMEPUMPER SOM CO ₂ -REDUSERENDE TEKNOLOGI	22
4.4	MULIGE PROBLEMER	23
4.5	MILJØASPEKT	23
5	HVORFOR HAR NORGE SÅ FÅ VARMEPUMPER.....	25
5.1	NORSK ENERGIIHISTORIE DE SISTE TIÅRENE	25
5.2	HVORFOR ER SITUASJONEN HER SÅ FORSKJELLIG FRA I SVERIGE?	26
5.3	HINDRINGER I NORGE.....	27
6	BOREKOSTNADER	30
6.1	KOSTNADER FORBUNDET MED INSTALLASJON AV VARMEPUMPE.....	30
7	VARMEPUMPEKALKULATOR.....	32
7.1	VP-KALKIS	32
7.2	VP-KOSTNADEN.....	33
7.3	AVANSERT.....	33
7.4	NOEN SENTRALE METODER.....	34
7.5	RESULTAT.....	36
8	KONKLUSJON	38
8.1	LØNNSOMHET	38
8.2	VIRKEMIDLER	38
8.3	KART	39
9	REFERANSER.....	40
10	VEDLEGG: KILDEKODE VP-KALKIS.....	42



1 INNLEDNING

Målet for arbeidet med denne rapporten har vært å undersøke lønnsomheten i installasjon av varmepumper i eksisterende eneboliger. I forbindelse med dette har vi sett nærmere på energiforsyningen i Norge, status for varmepumper i dag, gevinster og kostnader ved bruk av varmepumper og teknikken bak de.

I forbindelse med dette har vi programmert en varmepumpe-kalkulator, der man ved å legge inn enkle parametre kan få et overslag over hvorvidt en geotermisk varmepumpe vil være lønnsomt i det enkelte tilfellet.

For å få en oversikt over hvor i Norge det vil lønne seg økonomisk å installere varmepumper, kan det være interessant å lage et kart. Der kan man markere de geografiske områdene der berggrunnen inneholder svært lite løsmasser slik at det blir billig å bore.

Motivasjonen vår for å velge denne oppgaven var at dette fremdeles er nytt og fremtidsrettet i Norge, samtidig med at vi var nysgjerrige på hvorfor Sverige har så mange flere varmepumper enn Norge. Vi så dette som en utfordrende oppgave som ikke var utelukkende teknisk orientert, men som også hadde et samfunnsmessig perspektiv.

Det moderne liv i dagens norske husholdninger er svært energi-intensivt. Vår definisjon av det gode liv innebærer for de fleste av oss en høy grad av komfort og bekvemmelighet, som kommer fra stadig flere elektriske hjelpemidler. Vi har spotlights i alle tak, varmekabler i alle gulv, inkludert garasje og innkjøring, og alt fra blendere, ishakkemaskiner og salatsentrifuger på kjøkkenet.

Tall hentet fra NOS: Historisk statistikk 1194: 42 og NOS: Statistisk årbok 1996: 44 viser at husholdningenes andel av energibruken har økt de siste tyve årene. Sett i sammenheng med et økende antall husholdninger, har imidlertid energibruken per husholdning gått litt ned, noe som blant annet har sammenheng med en forbedring av boligmassen. Målt per innbygger er forbruket relativt stabilt, noe som leder oss til at husholdningers stasjonære energibruk er relativt stabilt. Når det kommer til ikke-stasjonært forbruk, slik som transport og privatbilisme, har forbruket økt dramatisk. Så til tross for mange kampanjer og en flom av informasjon, kan man ikke si at man har lyktes med å redusere husholdningenes forbruk.

Forklaringen kan ligge i at man ikke har tatt innover seg hele kompleksiteten i problemstillingen. Energiøkonomisering og en fornuftig og nøkternt energibruk dreier seg ikke nødvendigvis bare om noe så rasjonelt som teknologi, det favner også om våre verdier og normer. Dagens energistrukturer reflekterer ikke bare nåtiden, men også fortiden. Man kan ikke endre denne uten samtidig å se på den konteksten den er en del av. /1.1/ Energibruk er konsekvens av både handling og teknologi. /1.2/ Kan nordmenns manglende satsning på varmepumpeteknologi forklares ut fra dette?

For oss er varme, varmt vann og elektriske hjelpemidler ikke bare en selvfølge, men også en forutsetning for de livene vi lever. Få av oss reflekterer over hvor energien vi bruker kommer fra, og enda færre tenker over muligheten for at det hele kan ta slutt. Vi er i det hele tatt overraskende likegyldige til vårt egen energibruk. Prisene på strøm er lave og den jevne forbruker ser ingen hensikt i å gå over til andre kilder enn vannkraft. For utenfor regner det jevnt og trutt og oppe på fjellet ligger magasinene breddfulle av vann. Til tross for spredde



oppslag i avisen om skremmende lave fyllingsgrader og en nær på sprengt nettkapasitet er vi blinde for at vi i dette rike landet en dag kan mangle nettopp forutsetningen for vår velstand: kraft. Og det fordi vi ikke evner å begrense vårt eget forbruk.

Så hvordan kan da forbruketmønsteret endres? Kan man bortsett fra energiøkonomiseringstiltak finne alternative energikilder for å dekke forbruket vårt? Kan man satse på distriktsvarmetiltak, der varmepumpeteknologi ved hjelp av sjø, søppelfyllinger og berggrunn varme opp boligene våre? Er dette noe som bare er lønnsomt for borettslag? Store industribygg? Hele bydeler? Eller kan det også fungere for deg og meg?

2 Energi og framtid

2.1 Status for energibruk i Norge i dag.

Situasjonen for energiforsyning her til lands er relativt unik. Et fuktig klima og variert topografi har skapt gode forutsetninger for utbygging av vannkraft til tross for behovet for store investeringer. Store deler av industrien vår er basert på energi-intensive produksjonsprosesser. Norge har store gass- og oljereservoarer ute i Nordsjøen, og undersjøiske rørledninger fører olje og gass til fastlandet og til kontinentet. Uten å skille mellom de ulike energitypene, eksporterer Norge årlig 2221 TWh energi, og bruker 225 TWh innenlands. Hvordan kan en slik storeksportør av energi kunne risikere et energiunderskudd?

I år 2000 var el-energiproduksjonen 143 TWh, en økning på 16.8 % i forhold til 1999. Dette er det meste som noensinne er blitt produsert i Norge og har sammenheng med at tilsiget til det norske kraftproduksjonssystemet var hele 125 % av det normale. Ved utgangen av 2000 var beregnet produksjonsevne for det utbygde norske vannkraftsystemet i et år med normalt tilsig 118 TWh. Brutto totalforbruk innenlands utgjorde 124 TWh. /1.11/.

Produksjonen på Ekofisk startet opp i 1971, og i 1975 gikk Norge fra å være et energiimporterende land til et energieksporterende land. I 1979 ble produksjonen startet opp på Statfjord-feltet. Disse enorme olje-reservoarene like utenfor vår egen kystlinje kunne ha endret energisituasjonen i Norge drastisk. Hvorfor skjedde ikke dette? Blant annet mente myndighetene at inntektene fra oljen ville ha en negativ økonomisk effekt på den eksisterende norske industrien. Rent teknisk hadde man problemer med å krysse Norskerenna med rørledninger til det norske fastlandet, så ledningene ble derfor lagt til England og Nederland. Slik fikk man et skarpt skille mellom fastlands og offshore energi-sektorene, noe som gjenspeilet seg i forskjellige organisasjonsmodeller og skattesystemer for de to sektorene.

En av de viktigste oppgavene til den norske vannkraftindustrien var å sikre lave energikostnader for den eksporterende energi-intensive industrien. Spesielle avtaler mellom staten og de ulike vannkraftselskapene skulle sikre dette.

2.2 Varmepumpepotensialet i Norge

Varmepumper egner seg godt i Norge fordi vi har lang fyringsesong som gir stort behov for oppvarming og dermed et høyt potensial for energisparing. Vi har en rekke industrielle prosesser med moderate temperaturkrav og generelt god tilgang på egnede lavtemperatur varmekilder. Oppvarmingssystemer basert på varmepumpe og vannkraftbasert elektrisitet gir god total virkningsgrad.

Varmebehovet til boligoppvarming utgjør ca 25 TWh pr år. Av dette går mer enn 60% til oppvarming av eneboliger. Boligmarkedet representerer i dag et stort energisparepotensiale. Varmepumper kan være et godt alternativ for romoppvarming og oppvarming av varmt forbruksvann samt varmegjenvinning fra ventilasjonsluft.

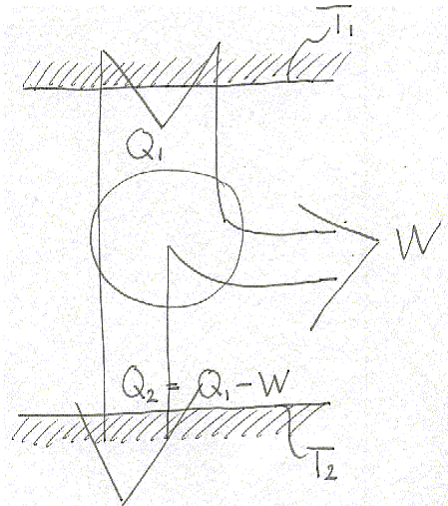
3 Teknikken bak varmepumper

3.1 Formulering av en varmekraftmaskin

En varmepumpe kan ta opp eller fjerne varme fra et sted med lav temperatur og pumpe eller avlevere den til et sted med høyere temperatur. Mens varmen helt av seg selv går fra høy til lav temperatur, må vi tilføre eksergi til varmepumpeprosessen for å løfte varmen fra lav til høy temperatur.

En bestemt varmemengde kan ikke omdannes til samme mengde arbeid, omdanning er bare mulig dersom en del av varmen avledes uten å bli transformert.

Vi antar at vi har en varmekraftmaskin som arbeider mellom temperaturnivåer T_1 og T_2 . Dersom vi tar en varmemengde Q_1 fra reservoar T_1 og tilfører varmekraftmaskinen, kan bare en del omdannes til mekanisk arbeid W , resten $Q_2 = Q_1 - W$ må avgis til det lavere temperaturnivå T_2 .



Figur 3.1: Energiflyt i en varmekraftmaskin

Varmekraftmaskinens godhet er gitt ved den termiske virkningsgraden $\eta = W/Q$. Det maksimale arbeidet som kan produseres avhenger bare av temperaturnivåene som varmekraftmaskinen arbeider mellom ($W = Q_1 \cdot (T_1 - T_2) / T_1$). Varme er ikke en likeverdig energiform i forhold til mekanisk arbeid, den er en lavverdig energiform, i og med at den bare i begrenset grad lar seg overføre til arbeid (eksergiandelen)./3.1/

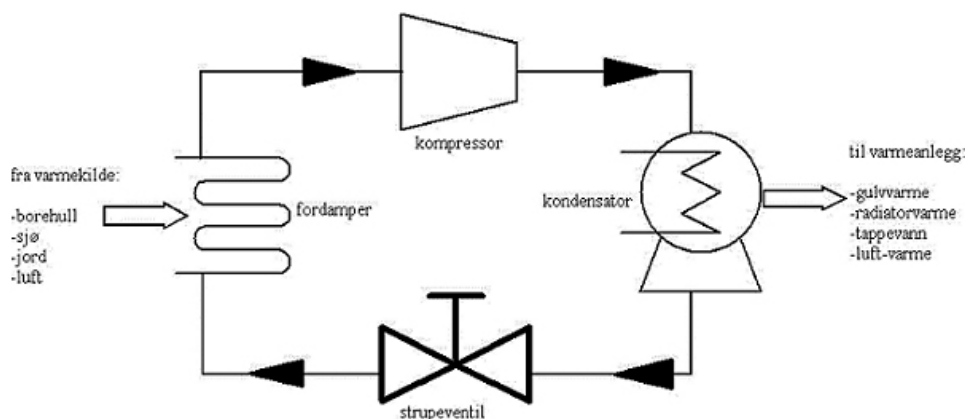
Varmepumpens effektivitet beskrives gjerne ved hjelp av den såkalte varmefaktoren. Den angir forholdet mellom den varmemengde som varmepumpen leverer og nødvendig driveenergi. Varmefaktoren varierer og avhenger først og fremst av temperaturløftet, det vil si temperaturdifferansen mellom varmekilde og varmedistribusjonssystem. Ved byggningsoppvarming oppnås varmefaktorer på ca 3-4.

Med en antatt gjennomsnittlig varmefaktor på tre for varmepumper kreves 1/3 kWh elektrisitet for hver kWh varme som leveres fra varmepumper. Varmepumper som erstatter elektrisk oppvarming vil med andre ord redusere elforbruket med to tredjedeler. Dersom varmepumpen erstatter olje eller vedfyring, vil elforbruket derimot øke. I dette tilfellet vil man få en stor miljøgevinst.

3.1.1 Teknisk beskrivelse av varmepumper

Varmepumpen har et kuldemedium som sirkulerer i en krets med fire hovedkomponenter: fordampere, kompressor, kondensator og en ekspansjon eller en strupeventil. Fordamperen (varmeveksler) overfører varme fra varmt kuldemedium. I fordamperen holdes trykket så lavt at kuldemediet begynner å koke og går over til damp når varme blir tilført. Kompressoren suger opp dampen fra kuldemediet, komprimerer den og blåser den inn i kondensatoren. Kondensatoren har nå så høyt trykk at kuldemediet kondenseres ved en temperatur som ligger høyere enn utgående temperatur i varmesystemet.

Ved kondensering frigis den opptatte varmen til varmesystemet sammen med den høyverdige energien som har gått med til å drive kompressoren. Kuldemediet, som nå er i væskefase, passerer en strupeventil som senker trykket. Det føres så til fordamperen, og kretsløpet kan gjentas. Varmepumpen kjøler på fordampersiden og varmer på kondensatorsiden. Denne virkningen kan utnyttes i kjøle- og varmeanlegg.



Figur 3.2: Prosessen i varmepumpen.

3.2 Arbeidsmedier

Med betegnelsen "arbeidsmedium" menes prosessmediet i varmepumpeanlegget. Man snakker om opptak og avgivelse av varme ved tilnærmet konstant temperatur, med andre ord til den vanlige fordampings-/ kompresjonsprosessen med enkomponent medium. /3.1/

Man har flere ulike arbeidsmedier, og noen av disse er ammoniakk (NH_3), svoveldioksid (SO_2), metylklorid (CH_3Cl) og karbondioksid (CO_2). I dag er det ammoniakk som står som det mest sentrale mediet, og brukes stort sett i større kuldeanlegg og varmepumper. De andre



er erstattet med syntetisk fremstilte medier, hvor grunnmaterialet er hydrokarbonene metan (CH_4) eller etan (C_2H_6).

Man oppnår andre egenskaper ved at et varierende antall hydrogenatomer erstattes med i hovedsak klor (Cl) eller fluor (F).

Arbeidsmedier som har basis i metan eller etan, og der hydrogenatomer er erstattet med klor eller fluor, benevnes full-halogeniserte klor-fluor-karboner (KFK).

Svært mange forhold spiller inn på et mediums anvendelighet som arbeidsmedium, grunnet avvik fra idealet i selve grunnprosessen (kalddampprosessen), og delvis av praktiske grunner:

- Egenskaper som bestemmer den teoretiske prosessens egnethet med hensyn på energi- og volumbehov. Det vil si effektfaktor og volumetrisk varmeytelse.
- Egenskaper av betydning for den praktiske gjennomføringen av prosessen. For å nevne et par eksempler:
 - ✓ volum- og energibehov i kompressor
 - ✓ varmevekslerens effektivitet
 - ✓ dimensjoner på rør, ventiler osv
 - ✓ forhold til olje
 - ✓ forhold til vann
- Egenskaper av betydning angående lekkasjer til omgivelsene
 - ✓ Ozonnedbrytende evne
 - ✓ Bidrag til global oppvarming
 - ✓ Bidrag til miljøskade ved jordoverflaten (sur nedbør o.a)
- Pris og tilgjengelighet /3.1/

Fram til 1990 har varmepumper hovedsaklig benyttet R12 og R22 som arbeidsmedier, med maksimal temperatur for varmeleveranse på h.h.v 83°C og 61°C med dagens standard anleggsrustning (25 bars trykk-klasse). Arbeidsmediet er hverken brennbart/ eksplosivt eller giftig, og dessuten ikke aggressivt overfor kopper og kopperlegeringer.

I januar 1989 trådte den såkalte Montreal-protokollen i kraft, med krav om betydelig nedtrapping av forbruket av enkelte ozon-nedbrytende stoffer, deriblant KFK-stoffet R12. I Norge ble det fra 1.juli 1991 forbudt å tilvirke, innføre, utføre, installere og omsette kuldeanlegg og varmepumper med KFK som varmevekslermedium. Fra 1995 ble det innført fullt importforbud, men med tillatelse om fortsatt lov om å benytte brukt KFK for etterfylling av eksisterende anlegg.

I årenes løp er det gjort undersøkelser for å finne alternative arbeidsmedier til KFK-mediene. Av disse kan nevnes ammoniakk (er giftig) og karbondioksid (som allerede nevnt) og propan (C_4H_{10}). /3.1/

3.2.1 R22

R22 har vært nesten enerådende som arbeidsmedium i varmepumper med moderate temperaturkrav ($<61^\circ\text{C}$). Dette kommer blant annet av at mediet har høy volumetrisk varmeytelse. Dermed blir nødvendig kompressorvolum i størrelsesorden 35-40% mindre enn ved bruk av andre arbeidsmedier.



En ulempe med R22 er at gasstemperaturen ut fra kompressoren blir relativt høy sammenlignet med andre halokarboner (halogeniserte hydrokarboner; fellesbetegnelse for KFK, HKFK og HFK). I en del anlegg som har arbeidet med relativt høye temperaturløft, har dette ført til spalting av oljen med påfølgende syredannelse, kopperplattering og kompressorhavari. Dette har i en viss grad gitt varmepumper et dårlig rykte.

3.2.2 Ammoniakk

Mediet har vært nesten enerådende i større industrielle kuldeanlegg i flere tiår, sett ut fra termodynamiske og tekniske synspunkt. Når man setter fokus på energieffektivitet og miljø, blir ammoniakk stadig sterkere vurdert som det beste arbeidsmediet i større varmepumpeanlegg (>100kW) og isvannskjølere etc.

Ulempen med ammoniakk er at der man har fuktighet tilstede vil mediet angripe kopper og kopperlegeringer. Derfor må ammoniakkanlegg bygges helt uten innslag av slike materialer. Dessuten er mediet svært giftig, det har en skarp stikkende lukt (panikkskapende) og er brennbart/eksplosivt i visse blandingsforhold med luft.

Faren for forgiftning med ammoniakkanlegg er likevel svært liten, ettersom mediet med sin karakteristiske lukt er lett gjenkjennelig allerede ved en konsentrasjon på rundt 10 ppm (parts per million). Dødelig konsentrasjon ved 30-60min eksponering ligger imidlertid 150-200 ganger høyere./3.1/

3.2.3 Hydrokarboner

På grunn av de gunstige termodynamiske og miljømessige egenskapene har det fått ny aktualitet i blant annet varmepumper. De er svært brennbare og eksplosive, og det medfører at de først og fremst er aktuelle for bruk i små anlegg med liten mediefylling.

Propan og propylen er tyngre enn luft, og ved en eventuell lekkasje fra anlegget vil eksplosjonsfarlige konsentrasjoner lett kunne bygges opp. Av denne grunn må det settes strenge krav til utforming av anleggene. Propan og propylen regnes ikke som giftige medier, da de ikke gir dødelig eller alvorlig skade ved konsentrasjoner under nedre eksplosjonsgrense.

3.2.4 Karbondioksid

Karbondioksid (CO_2) er sett på som et svært lovende arbeidsmedium på grunnlag av at det er ugiftig, ubrennbart og ikke bidrar til nedbryting av ozon eller til drivhuseffekten.

På grunn av lavt kritisk punkt vil en ved bruk av CO_2 i varmepumpeanvendelser få en såkalt transkritisk prosess, med fordampning ved konstant temperatur under kritisk punkt og varmeavgivelse ved glidende temperatur (ikke kondensasjon, men fortetting av gassen) over kritisk punkt. Kondensatoren må derfor erstattes med en gasskjøler. Den lave kritiske temperaturen betyr at teoretisk effektfaktor for et varmepumpeanlegg med CO_2 blir 30-50% lavere enn med vanlige arbeidsmedier./3.1/

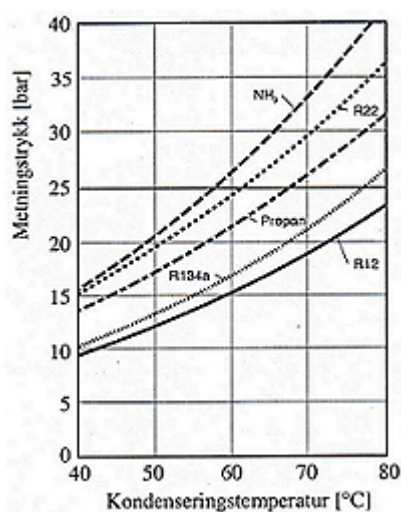
CO_2 er spesielt godt egnet der en har varmeopptak med tilnærmet konstant temperatur og stor temperaturglidning på varmeavgivelsessiden. Varmepumper i fjernvarmeanlegg og tappevannsvarmepumper kan nevnes som eksempler. CO_2 -anlegg er nettopp blitt kommersielt tilgjengelig.

3.3 Kriterier for valg av arbeidsmedium

3.3.1 Damptrykk

Ved valg av arbeidsmedia må metningstemperaturen og tilhørende metningstrykk ved kondensering og fordamping ligge i riktig område i forhold til bruksområdet. Fordampingstrykket bør ikke være lavere enn atmosfæretrykket, slik at det er risiko for innsuging av luft og fuktighet i anlegget.

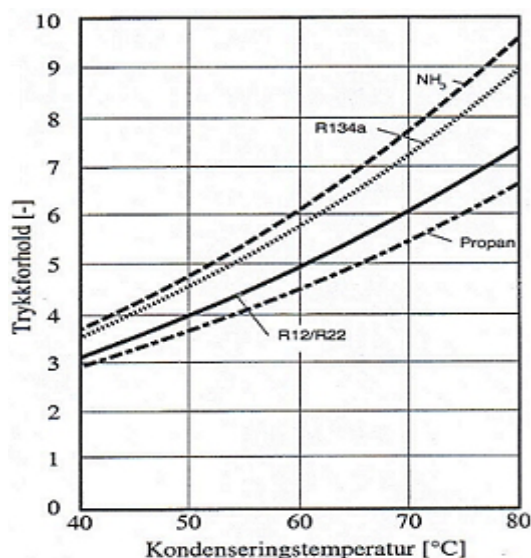
Kondenseringstrykket blir begrenset av anleggskomponentenes trykk-klasse. Varmepumper benytter i stor utstrekning standard kuldetechnisk utrustning, som for en stor del dimensjoneres for maksimaltrykk på rundt 25 bar.



Figur 3.3 :Metningstrykket plottet mot kondenseringstemperaturen for fem ulike arbeidsmedier, bl.a. R22 som er omtalt i teksten.

3.3.2 Trykkforhold

Neste medieparamet å betrakte er trykkforholdet mellom kondensator- og fordampetrykket, grunnet kompressorens virkningsgrader, både med hensyn til energi- og volumutnyttelse, som er sterkt koblet til trykkforholdet.



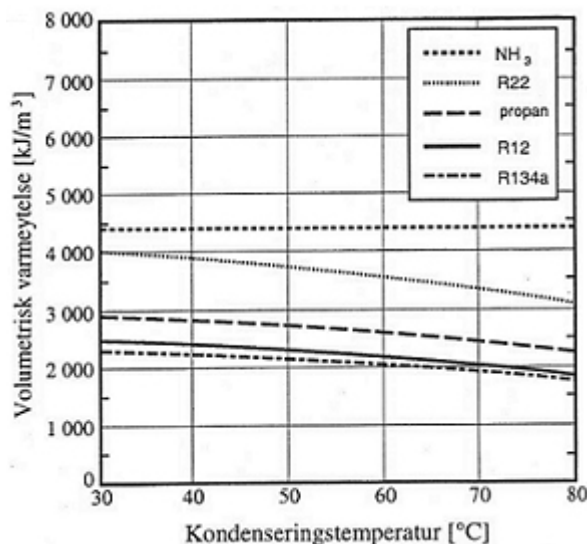
Figur 3. 4: Kondenserings-temperaturen plottet mot metningstrykk for de samme medier som i figur 3.3

For større varmepumpeanlegg vil utslagene av høyt trykkforhold være mindre av tre grunner. For det første betyr strupningstapet relativt mindre for en varmepumpe enn for et kuldeanlegg, og virkningskarakteristikken vil være vesentlig flatere og forskjellen i trykkforhold normalt (litt) mindre. I større anlegg hvor en har forholdsvis høye temperaturkrav for varmeleveransen (for eksempel varmepumper i fjernvarmeanlegg), bygges normalt for to-trinns kompresjon/strupning og kjøling av trykkgassen på mellomtrykksnivå./3.1/

3.3.3 Volumetrisk varmeytelse

Medieegenskapene har stor betydning for nødvendig innsugd gassvolum til kompressoren, og derved kompressorens størrelse og anleggskostnadene. Volumetrisk varmeytelse uttrykker avgitt varmeytelse per innsugd volumenhet gass til kompressor. Den viktigste medieegenskapen her er fordampetrykket. Når forskjellige medier sammenholdes, er volumetrisk varmeytelse svært nær omvendt proporsjonal med absolutt fordampetrykk.

Bruk av et lavtrykksmedium, som er gunstig ved at kondensatortrykket ligger i betryggende avstand fra kritisk trykk, vil medføre behov for store og kostbare kompressorer.



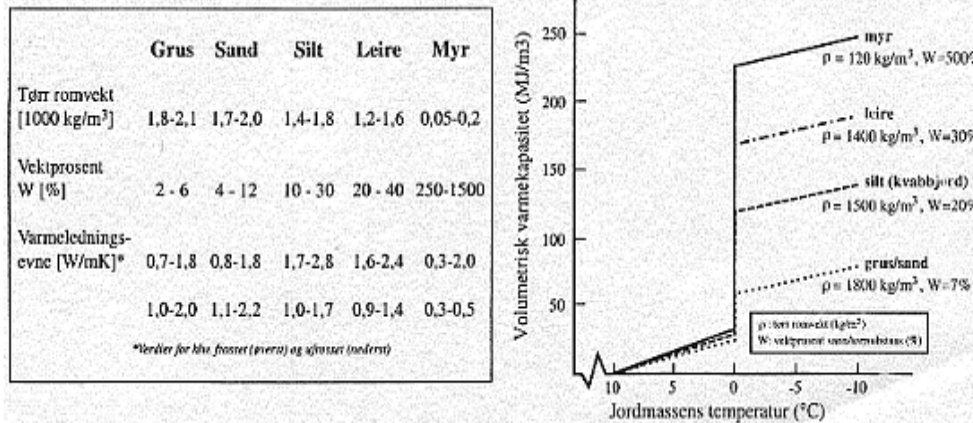
Figur 3.5: Kondenserings-temperatur plottet mot volumetrisk varmeytelse

3.3.4 Effektfaktor

I utgangspunktet er alle prosessmedier like effektive, forutsatt at de arbeider i en termodynamisk ideell prosess. Forskjell i teoretisk effektfaktor (i kalddamprosessen) henger sammen med forskjell i strupnings- og overhetingstap.

3.4 Jord som varmekilde

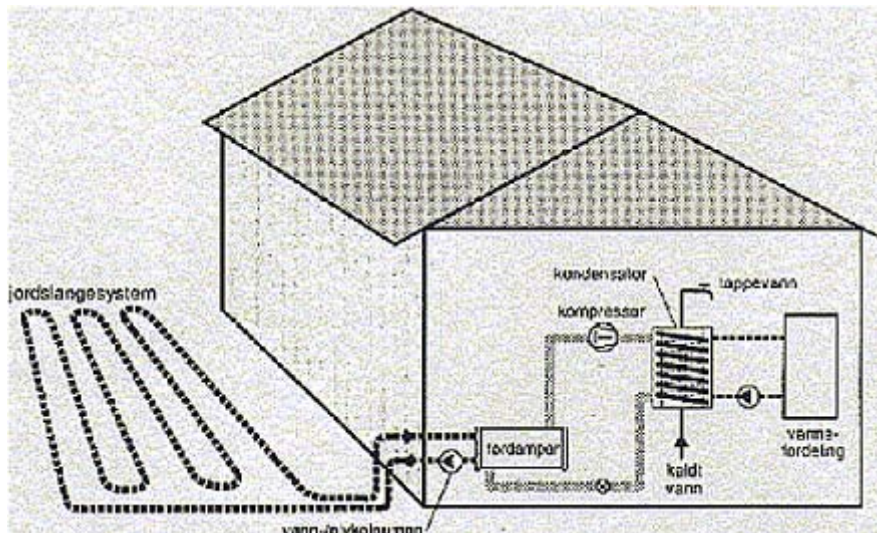
Varmeuttak varierer sterkt med jordmonnet, fuktigheten og de klimatiske forholdene. Det vesentlige av varmepumpens varmebehov opptas som latent varme når vannet i jordsmonnet fryser ut, mens en mindre varmemengde frigjøres under nedkjøling til frysepunktet og underkjøling av den frosne jorda.



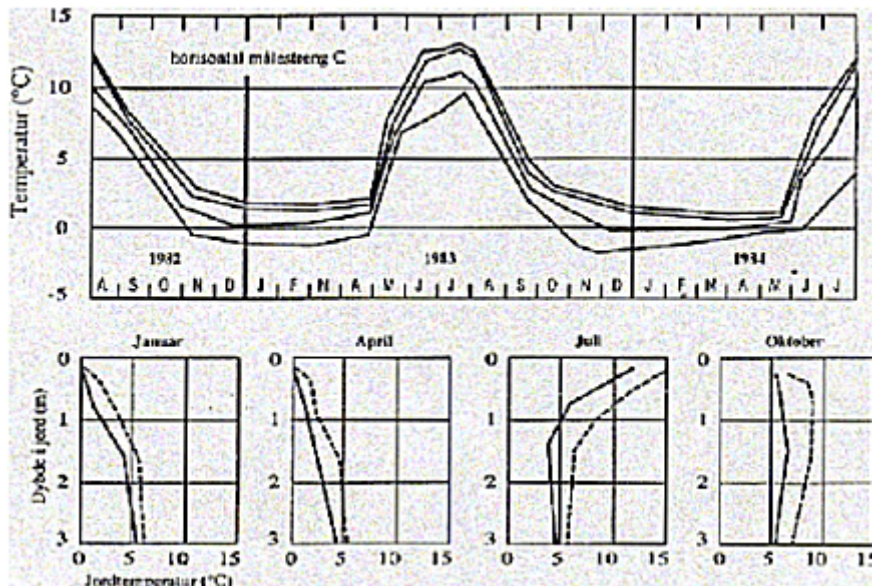
Figur 3.6: Spesifikk varmekapasitet for ulike jordmaterialer. /3.1/

I figur 3.6 er det blant annet vist hvor mye energi som maksimalt kan tas ut av en del jordmaterialer når temperaturen senkes fra +10 til -10. Varmeuttak ligger typisk på 15-35 kWh/år per meter kollektorslange.

Varmeopptaket skjer via en 2-300 meter lang helsveis plastslange hvor det sirkulerer en frostsikker væske eller sekundærmedium (etanol, saltlake, etylenglykol). Jordslangene plasseres med en avstand ca 1-2 m.



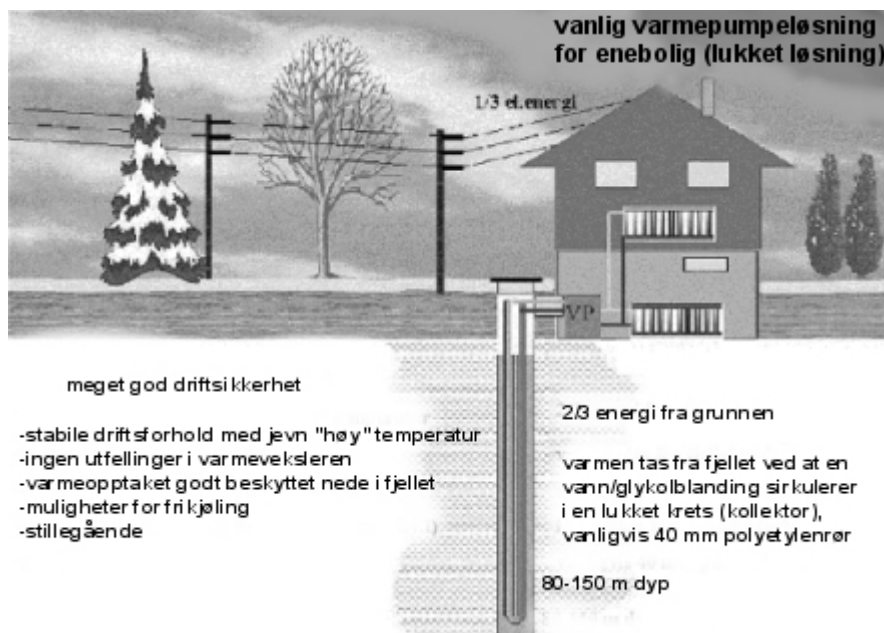
Figur 3.7: Prinsipiell skisse av bolig-varmepumpe med jord som varmekilde. /3.1/



Figur 3.8: Temperaturmålinger for jordvarmepumpe. /3.1/

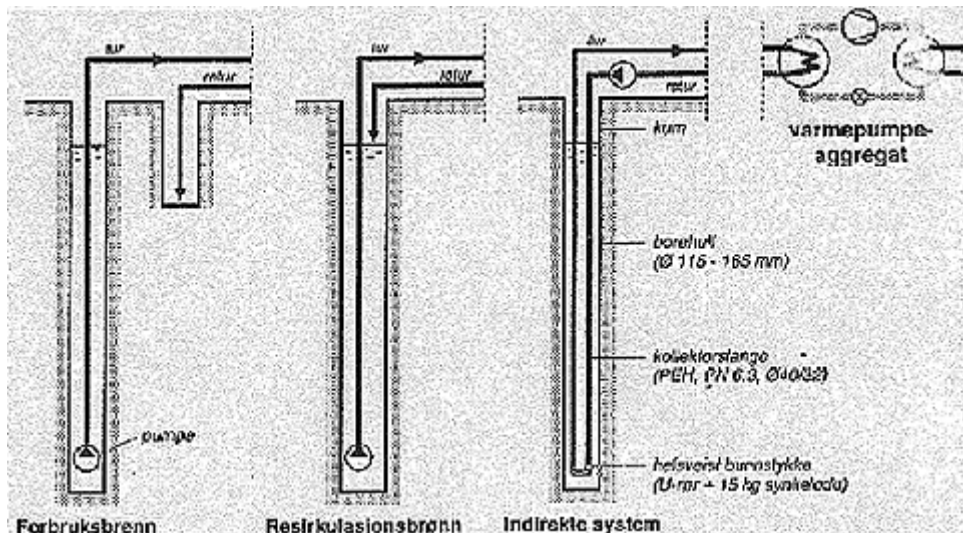
3.5 Berg som varmekilde

Kombinasjonen fjell og grunnvann er en aktuell varmekilde for mange norske eneboliger. For boligvarmepumper brukes det utelukkende et indirekte system, hvor en helsveis plastslange påfylles en frostsikker væske, senkes ned i hullet og utgjør en lukket krets mellom borehullet og varmepumpen.



Figur 3.9: Eksempel på varmepumpeløsning for enebolig. /3.14/

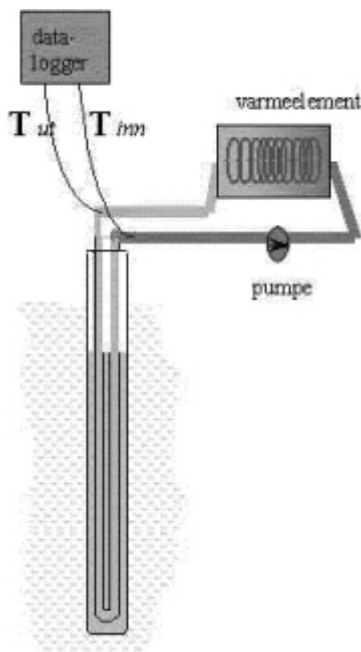
I de tilfeller hvor grunnvannstanden er lav, vil en få svært dårlig varmeoverføring mellom fjell og rørvegg, og dermed lite energibidrag i øverste del av brønnen. Dette kan løses ved å benytte varmeledende fyllmasse rundt kollektorslangen, og denne kan for eksempel bestå av 1/3 bentonitt og 2/3 kvartssand.



Figur 3.10: Tre alternative varmeopptakssystemer for borebrønner. /3.1/

Nødvendig brønndybde vil være i størrelse orden 80-200 m avhengig av bl.a. bergart og kvartsinhold, oppsprekking, nedslagsfeltets størrelse og terrengets helning. Årlig energiuttak vil variere fra 100 til 250 kWh per meter borehull. Oslofeltets permiske lavaer er den eneste norske bergarten (fastfjell) der det nesten er forsvarlig å kunne garantere mulighetene for større grunnvannsutttak på forhånd, og derfor større energimengder basert på en brønn.

For anlegg hvor det skal bores et større antall brønner, vil det være meget aktuelt å benytte en egen testtrigg for å måle mulig varmeuttak (termisk respons) i en testbrønn. Testen, som tar ca 70 timer, gir med utgangspunkt i kalibreringsdata et godt grunnlag for korrekt beregning av total borehullsdybde for anlegget.



Figur 3.11: Instrumentoppsett for termisk responstest i en brønn. /3.14/

3.6 Andre varmekilder

Andre varmekilder kan benyttes, slik som sjøvann eller innsjøvann, uteluft, avtrekksluft, grøftslange og så videre. Dette beskrives ikke i denne rapporten.



3.7 Tekniske løsninger ved boring av energibrønner

Ved boring av energibrønner anvendes det tre ulike teknologier:

- ✓ Senkhammerboring: “hammeren” sitter nede i hullet ved borekrona, og forplanter trykkbølger i berggrunnen gjennom slag på krona. Borerørene roterer en viss vinkel etter hvert slag, ca 20-40 grader per minutt.
- ✓ Toppammerboring: “hammeren” befinner seg på overflata, og trykkbølgene forplantes via borestengen og borekrona. På grunn av denne transportetappen må man regne med et visst energitap i slaget.
Frekvensen ved hammerboring er cirka 1000-2000 slag per minutt. Borekrona består av hardmetall, ofte wolframkarbid, som tilfører hardhet og slitestyrke, og kobolt, som medfører en viss seighet. Den mest brukte diameteren på borekrona er 115 mm.
- ✓ Rotasjonsboring: Borekrona penetrerer grunnen ved å rotere, ikke gjennom slag.

To typer rigger finnes:

- ✓ Trykkluftdrevet rigg, som er den eldste typen. Virkningsgraden er relativt lav, og driftskostnadene blir derfor høye.
- ✓ Hydraulisk drevet rigg: Denne fungerer best for store dyp med store hulldimensjoner. En slik rigg er dyr i innkjøp og vedlikehold.

Valg av kompressor til riggen styres av luftbehov ($5\text{--}35\text{ m}^3$ pr min) og arbeidstrykk ($0,5\text{--}2\text{ MPa}$).

For å transportere utboret formasjonsmasse (kaks) til overflata, opprettholde trykket i borehullet samt rense borerør og borekrone bruker man borefluid. I fast berggrunn er det vanligst å spyle med enten luft, vann eller skum. Sistnevnte har gode smøreegenskaper som virker på hullveggen. Også ved boring i løsmasser er skum et anvendt borefluid. Et annet alternativ her er slam. Det finnes tre grupper:

- ✓ Bentonitt: Bentonitt er en leire, som består av leirmineraler. Flere bentonittbaserte slam har vist seg å være helt ufarlige i bruk med hensyn på miljøet.
- ✓ Polymerer: Denne slamtypen består av biologisk nedbrytbare produkter av stivelse eller cellulose.
- ✓ Saltbasert slam: En kaliumkloridmettet, miljøvennlig løsning.

Målinger utført i borehullet under selve boreprosessen, såkalte Measurements While Drilling (MWD), er viktige informasjonsbærere. Disse angir hydraulisk trykknivå, eventuelt tap av borevæske, vannkapasitet, nedsynkningshastighet, matetrykk, moment, rotasjonshastighet, lufttrykk og væsketrykk.

Nedenfor følger en praktisk beskrivelse av hvordan de ulike boreteknikkene fungerer rent praktisk:

3.7.1 Senkhammerboring fra luftdrevet rigg

Slagverket sitter nederst i borestrengen, slik at slagene treffer borekrona direkte /3.2/. Frekvensen er som tidligere nevnt 1000-2000 slag per minutt, og i tillegg kommer rotasjon /3.3/. Dette medfører at berggrunnen knuses til et fint pulver. Et kontinuerlig matetrykk på krona ($500\text{--}1000\text{ kg/cm}^2$ /3.7/) sørger for kontakt mellom krone og hullbunn. Trykkluft gjennom borerørene driver slagverket. Returluft transporteres med borefluid og kaks gjennom



ringrommet mellom borerørene og hullveggen tilbake til overflata. Vanlig lufttrykk anvendt i krystallinsk berg er 2 MPa. I formasjoner som inneholder mye vann, kan det oppstå problemer med hullrensningen. Med en kompressor som yter 2 MPa, kan man ikke bore dypere enn 150 meter i frakturert berg med høyt vanninnhold /3.4/.

En fordel med denne teknikken er at avviket fra planlagt hullbane blir lite, da tyngdepunktet ligger så nært hullbunnen. Ulempen er en høy energibruk, og at penetrasjonsfarten (borehastigheten) er heller lav til å begynne med /3.2/.

3.7.2 Senkhammerboring fra hydraulisk drevet rigg

Slagverket drives her av vann under høyt trykk /3.5/. Luftkompressoren som anvendes ved lufttrykksboring byttes ut med en høytrykkspumpe som tilfører vann. En viktig forutsetning er derfor god vannforsyning. Resirkulasjon av vannet er mulig, men da kreves en grundig renseprosess, der man fjerner faste partikler som kan ha blandet seg i vannet underveis. Denne nye teknologien med hydrauliske rigger ble utviklet for å finne en løsning på problemene med vannrike formasjoner.

Fordelene er:

- ✓ Fordoblet penetrasjonshastighet.
- ✓ Energibruk er redusert til 1/3 av opprinnelig med lufttrykksboring.
- ✓ Avvik fra planlagt hullbane er minimalt.
- ✓ Arbeidsmiljøet er forbedret; man bruker for eksempel ikke olje til smøring av borekrona.
- ✓ Vanninnholdet i berget har ingen påvirkning på hvor dypt en vil nå.

Ulemper kommer man selvsagt ikke utenom:

- ✓ Høyt vannkonsum, gjerne 200-300 liter per minutt. Vannet må være "renset" for partikler større enn 50 mikromillimeter (dvs konsentrasjonen må være mindre enn 50 milligram per liter).
- ✓ Trykkbølgene under boringen påfører hammeren store belastninger og slitasjer. Dette medfører høye hammerutgifter; gjerne 40 kroner per meter. Ved lufttrykksboring er den tilsvarende prisen 6 kroner per meter. /3.4/

3.7.3 Toppammerboring

Slagverket befinner seg nå på overflata. Slagenergien transporteres til borekrona gjennom borestenger, noe som medfører energitap underveis. Penetrasjonsraten vil således avta med dypet. Stor grunnvannstilførsel til borehullet øker energitapet ytterligere, da trykk går med til å løfte vannet ut av hullet /3.7/. Fordelen er likevel at denne metoden er forholdsvis kjapp; man kan bore 30-40 meter på 4-5 timer /3.3/. Ulempene er for det første begrensningene som oppstår dersom man borer i hardt berg. Maksimalt dyp kan da være nede i 70-80 meter. Det er dessuten lett å få avvik fra planlagt hullbane, og slagverk på overflata gjør arbeidsmiljøet er også mindre bra.

3.7.4 Rotasjonsboring med direkte spyling

For boring i sedimentære bergarter og løsmasser er det fordelaktig å bore med rotasjonsborekrona /3.2/. Problemer kan imidlertid oppstå i jord rik på steiner og blokker. Ved å spyle direkte, blir borefluidet fraktet ned gjennom borerørene og ut gjennom dyser i borekrona. Returen foregår sammen med kaks gjennom ringrommet tilbake til overflata.

Borekrona roterer, mens den trykkes med stor kraft mot hullbunnen. I harde til middels harde bergarter anbefales bruk av rulleborekroner. Dersom bergarten er løsere i konsistensen er som regel skjærborekroner den beste løsningen /3.2/.

Hva hulldimensjoner angår, har borekrona i løse formasjoner ofte en diameter større enn 3,5 tommer. I harde formasjoner ligger størrelsen mellom 6 til 20-30 tommer. I tillegg til slam, kan man også bruke vann eller luft samt en kombinasjon av luft og skum som spylemiddel. Aberet ved bruk av vann er at dette trenger en fart på 40-60 meter per sekund for å løfte kakset. Luft kan medføre problemer i vannholdige bergarter, der vann kan flyte ut og binde plugger i brønnen. Kombinasjonen luft og skum fungerer bra i frakturert sedimentært berg, der man ellers lett kan tape spylevæske til formasjonen /3.7/.

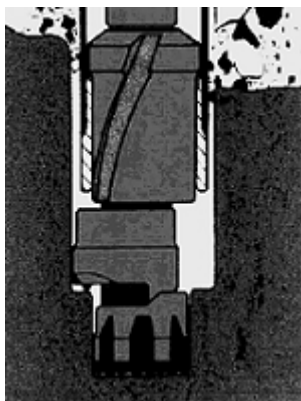
Ved boring i grunnvannssonen er vannbasert spylemiddel å foretrekke /3.8/, da dette medfører liten utstyrsslitasje nedihulls. Slik blir materialtransporten bedre. Ved bruk av slam i permeable formasjoner dannes slamkaker på hullveggen. Slik forhindres tap av slam til sprekker. Slamkaka kan dessverre også redusere varmetilførselen til energibrønnen. Slamkaka kan nedbrytes av cellulose og stivelse /3.7/.

3.8 Boring og rørdrijving gjennom berg og jordlag

For å stabilisere veggen i et borehull i løse formasjoner kan man enten bore med foringsrør, eller benytte skruboring. Nedenfor følger en beskrivelse av de to teknikkene.

3.8.1 Boring med foringsrør

For å forhindre at borehullet kollapser, anvender man foringsrør og følger en av de tre metodene Odex, Tubex eller No-X. De to første innebærer at man til borekrona har festet en reamer som står litt på siden i forhold til borekrona, og slik utvider reameren hullet etter at krona har boret. Foringsrøret er festet utenpå borestrengen, og følger borekrona helt til det aktuelle dypet der foringsrøret skal settes. Her faller reameren inn med borestrengen igjen, slik at neste seksjon i hullet får mindre diameter.



Figur 3.12: En luftrotert hammer lager et hull med større diameter enn selve borehodet.

No-X betyr boring med ringborekrona i spissen av foringsrørene. Krona har samme diameter som foringsrørene, og blir etterlatt i jorda, mens kun styringsrør og pilotkrona trekkes opp. Konvensjonelle foringsrør er av stål, og har en lengde på 3-6 meter. Anbefalte diametre er 139,7, 168,3 og 193,7 millimeter og minste tykkelse er 5 millimeter. En relativt ny og lite utprøvd teknologi er foringsrør i plast. Her forutsettes bruk av Odex- eller Tubexmetoden. /3.7/



3.8.2 Skruboring og augerboring

I stedet for borekrone benyttes det en skrubor med diameter på 25-90 millimeter. Denne anvendes sjelden på større dyp enn 10-15 meter /3.7/. Skruboring i større skala og med tyngre maskineri kalles augerboring. Denne typen boring fungerer best i sedimentære geologier, bortsett fra i løse grove vannførende sedimenter, der den kontinuerlige matingen ikke vil virke. Det er også en viss risiko for at borehullet vil kollapse når man trekker boret, da veggen ikke er stabilisert.

Krav til augerboringsutstyr er stor løftekapasitet og stort vridningsmoment.

Rotasjonshastigheten skal imidlertid være liten. Under penetrasjonen vil jorda legge seg på borets flenser. Slik vil mesteparten av kakset bli transportert opp på overflata, mens en eventuell rest vil bli presset inn i borehullsveggen. I det man når installasjonsdypet, frigjøres bunnspeisen, og slangen installeres i hullet gjennom borerøret. Boret blir deretter trukket eller skrudd opp til overflata. Metoden anvendes ikke i leire, og er langsommere enn rotasjonsboring.

3.9 *Installasjon av slange i borehull*

Etter å ha blitt grundig skadekontrollert på både inn- og utside, kan en slange senkes ned i en energibrønn. Dette blir gjort ved at to parallelle rør blir sammensveiset i nedre enden ved hjelp av et rør formet som en u, og så senket ned i det på forhånd desinfiserte borehullet. Etter slangeinstallasjon følger tetthetskontroll av slangen, tilkobling av varmepumpen /3.9/ og isolering av slangen. Det siste blir gjort både på inn- og utsiden av husveggen. Oppå energibrønnen skal det ligge et lokk festet i foringsrøret, for å forhindre at slangen stiger ved for eksempel ved isdannelse /3.7/.

3.10 *Tetting og gjenfylling av borehull*

For å forhindre at grunnvannet forurenses av borehullet, er det vanlig prosedyre å sementere i ringrommet mellom hullvegg og foringsrør. Foringsrøret skal gå litt nedi berggrunnen (ca 2-3 meter), og nå minimum seks meter under overflata. Etter at foringsrøret er satt til planlagt dyp, løftes det litt, og boreutstyret blir trukket ut av hullet. Sementen trykkes foran foringsrøret, som samtidig faller ned mot hullbunnen /3.3/. Etter at sementen har tørket, fortsetter boringen igjen.

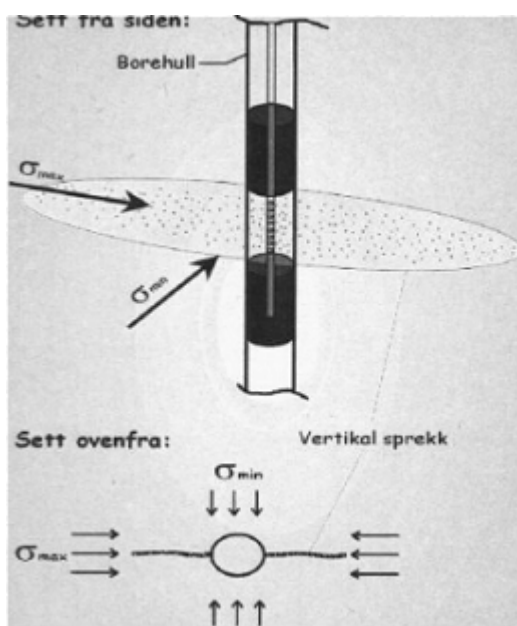
Borehullet kan fungere som en spredningskanal for forurensning, både fra overflata til grunnvannet og mellom to akviferer. Det er derfor nødvendig å gjenfylle borehullet. Fyllingen er også ment å skulle stimulere varmeoverføringen mellom slange og omgivende berg.

Gjenfyllingsmaterialet bør i tillegg til gode varmeledningsegenskaper ha lav permeabilitet, høy viskositet, være kjemisk inert og ikke reagere med det grunnvannet og de geologiske formasjoner det kommer i kontakt med. Av praktiske årsaker må det være lett å blande og pumpe gjenfyllingsmaterialet, og å fjerne det fra utstyr etter utført arbeid. Materialet bør ikke være lett spredelig gjennom permeable media, og det skal oppfylle de gjeldende helse-, miljø- og sikkerhetskrav. Permeabiliteten til gjenfyllingsmaterialet må være lavere enn omgivelsesbergartens permeabilitet. Eksempel på gjenfyllingsmaterialer er grus, sand, borkaks og sement eller bentonittbaserte blandinger /3.10/.

Gjenfylling av borehullet må naturligvis alltid starte på bunnen og avsluttes på overflaten. I forkant må borehullet renses fra alt løsrevet material. Dette skjer ved sirkulering, enten av borehullsvæske eller av rent vann.

3.11 Hydraulisk splitting

I visse tilfeller er det grunnvannet som skal overføre varmen fra berggrunnen til brønnen. Et problem som da kan oppstå, er lavpermeabel berggrunn. Resultatet kan være at vannet ikke får strømme inn i brønnen, som i sin tur vil bli tørrlagt. En mulig løsning utviklet av et samarbeid mellom NGU, NTNU og BTU er hydraulisk frakturering. Sprekkene som dannes i berggrunnen under en slik operasjon vil fungere som strømningskanaler for vannet. En seksjon av borehullet blir utstyrt med en dobbeltpacker, en pakning som tåler høyere trykk enn konvensjonelle pakninger, som deler hullseksjonen i to.



Figur 3.13: En seksjon deles av brønnen ved hjelp av en dobbeltpacker, og vanntrykket i seksjonen økes til det omgivende berget sprekker.

Videre økes trykket i borehullet, inntil formasjonen rundt den aktuelle hullseksjonen (mellom de to packer-delene) sprekker opp. Som vist i figuren er bruddplanets orientering av spenningene i bergarten. For å forhindre at sprekken faller sammen igjen etter at man har senket trykket i borehullet, er det utviklet en metode for å blande sand og andre tetthetsøkende middel inn i vannet som skal opprettholde sprekken.

Sprekkene blir mest effektivt holdt åpne med sandkorn, som fungerer som avstandsklosser i sprekken, i trykkevannet. En forutsetning for å ta i bruk og kommersialisere denne teknologien, er at det blir billigere å få utført hydraulisk fraktureringsoperasjon enn å bore en ny brønn. I så fall kan man i fremtiden glemme problemet med tørre brønner. /3.11/

3.12 Installasjon av jordvarmepumper

Et alternativ til boring av vertikale brønner i berggrunnen, er jordvarmepumper. Disse henter varme fra jordsmonnet og overfører den til et vannbåret varmesystem. Kollektorslangen blir her plassert horisontalt i ei grøft som er 0,6 til 1,5 meter dyp. En slik installasjon krever et stort areal, gjerne 200 til 600 kvadratmeter. Men hvis forholdene ligger til rette, kan også denne løsningen vise seg økonomisk lønnsom. /3.12/



4 Varmepumper og miljø

4.1 Fremtidens energisystem

Varmepumper kan bli en viktig del av fremtidens energisystem. Varmepumper står som et stort ENØK-tiltak som gir svært høy grad av energisparing.

Effektene på miljøet er ulike, avhengig av type pumpe som velges, men generelt er effektene ganske små. Før installering av en geotermisk varmepumpe må det selvsagt graves, men effektene av det arbeidet er relativt små. Når det skal installeres en luft-varmepumpe trengs det ikke gjøres noe graving på forhånd.

4.2 Innemiljø

Vannbåren varme til oppvarming av rom er komfortmessig å foretrekke framfor direkte elektrisk oppvarming. Elektriske panelovner og konvektorer har meget varme overflater, som foruten å representere en brannfare, gir en strålingsasymmetri som kan oppleves ubehagelig.

Høye overflatetemperaturer fører også med seg at ozon dannes når støv blir svidd på panelovnene. Vannbåren varme er altså å foretrekke både pga. bedre termisk komfort og av atmosfæriske grunner.

4.3 Varmepumper som CO₂-reduserende teknologi

Elektrisk drevne varmepumper representerer et svært energieffektivt og miljøvennlig alternativ for oppvarming og kjøling av bygninger, samt en rekke industrielle anvendelser. I kombinasjon med en egnet spisslastenhet (olje, gass eller biobrensel) framstår de som energifleksible klimasystemer med høy energieffektivitet.

En del større varmepumper utformes for å dekke både varme- og kjølebehov, noe som resulterer i svært energieffektive anlegg.

Potensialet for varmepumper i Norge er stort fordi en stor del av de norske CO₂ utslippene kommer fra nettopp oljefyringsanlegg i bygninger og industri. Når varmepumper erstatter olje- og gassfylte kjelanlegg, reduseres utslippene av CO₂ og SO₂ med 90 – 100%. Forutsetningen er at de planlegges og drives riktig.

CO₂ utslippene fra varmepumper er i de fleste tilfeller en god del lavere enn ved bruk av moderne gass- og oljefyrte kjelanlegg, sett i sammenheng med at elektrisitet produseres i termiske kraftvarmeverk.

CO₂ utslippene knyttet til varmeproduksjon i elektrisk drevne varmepumper er avhengig av hvilke energibærere som brukes ved elektrisitetsproduksjonen (kull, tungolje, naturgass, vannkraft, kjernekraft, fornybare kilder), kraftverkenes elektriske virkningsgrad samt varmepumpenes varmekoeffisient (COP).

På verdensbasis står varmepumper i dag for en reduksjon av drivhusgasser på ca. 0,5%, men dagens teknologi har et potensiale for videre reduksjon. I følge Det internasjonale Energibyrået kan økt bruk av varmepumper redusere verdens CO₂ utslipp med seks prosent.



De norske utslippene kan kuttes med 10%. Dette er noe av det største potensialet en enkel teknologi kan ha gitt dagens sammensatte utslippsbilde av drivhusgasser. /4.1,4.2/.

Fyringsolje dekker i dag ca 12 TWh/år av energibruken i norske bygginger. Hvis for eksempel 10 TWh oljefyring alternativt ble dekket med varmepumper, ville det medføre en reduksjon av Norges CO₂ utslipp på ca. 10% - referert til det totale utslipp i 1996. /4.3/. Ved samtidig å erstatte direkte elektrisk oppvarming, dvs panelover og elektrokjeler, med varmepumper kan det dessuten frigjøres betydelig mengder elektrisk kraft for innenlands bruk eller eksport.

Man har en trend som går i retning av energibærere med lavere CO₂ innhold (f.eks naturgass) samt kraftverksprosesser og varmepumpesystemer med høyere virkningsgrad, og følgelig vil varmepumpen styrke sin posisjon som CO₂ reduserende teknologi i årene som kommer.

4.4 Mulige problemer

Grunnvannsuttak og returvannutslipp i nærheten av eksisterende grunnvannsforsyninger må nøye vurderes med tanke på faren for bakteriespredning og risikoen for lekkasje av kollektorvæske. Importrestriksjoner på spritholdig kollektorvæske har medført en forsinket introduksjon av denne mer miljøvennlige løsningen enn glykolblandinger som til nå har vært mest brukt.

Grunnvannssenknninger i finkornede masser kan medføre vanskeligheter med belegg i varmevekslere. Vanligvis består slikt belegg av jern, mangan, kalk, magnesium m.m. Forundersøkelsens vannanalyser vil vanligvis kunne si om det er fare for belegg. Beleggproblemer kan ofte begrenses ved å flytte inntaksbrønnen eller inntaksnivået.

4.5 Miljøaspekt

Mediet som pumpes opp inneholder vann, men kan også inneholde betydelige deler med svovelsulfider, kuldioksid, metan, ammoniakk, helium, jern og andre mineraler, gasser og annet. Dette bidrar til vann- og luftforurensninger. Ved utvinning av geotermisk energi pumper man tilbake det forurensede vannet.

Typer av miljøbelastninger som kan identifiseres med hensyn på varmepumpeteknikk er blant annet en termisk belastning gjennom avkjøling (frysing). Det finnes mange ulike typer kjølemedier på markedet, og som rapporten tidligere har vært inne på påvirker de miljøet på ulike måter.

Endringer i grunnvannskvaliteten kan forårsakes av varmeledningslekkasje, temperaturendringer i jorden, migrasjon av forurensning og turbiditeteffekter assosiert med borhullsboring og grøftegraving.

Utnyttelsen av geotermisk varme kan gi også opphav til luftforurensninger, f.eks svovelforbindelser. Dersom man ikke anvender lukkede system ved varmtvannsforekomster finnes en risiko for luftforurensning også her.



Dersom man utnytter varme bergmasser som varmes opp gjennom splitting av radioaktive stoffer, finnes en viss risiko for at disse spres når vannet sirkulerer i berget. Med varmevekslere kan eventuelle radioaktive mineraler hindres fra å føres videre med eksempelvis fjernvarmevann.

På grunn av eventuelt høyt saltinnholdet i det geotermiske vannet kan korrosjonsproblemene bli omfattende. Dette løses vanligvis ved å bruke titanvarmevekslere.

5 Hvorfor har Norge så få varmepumper

5.1 Norsk energihistorie de siste tiårene

De økte oljeprisene i 1974 var et alvorlig tilbakeslag for økonomiene i de fleste vestlige land, samtidig som oljeavhengigheten ble svært synlig. Også tidligere hadde man fokusert på miljøkonsekvenser av energibruk og hva virkningene ville bli om man på lang sikt opplevde energimangel, men aldri hadde man sett for seg en slik brå stans i forsyningene. Man kan til dels si at utviklingen av mer energisparende byggestandarder, bygninger og fokuseringen på alternative energiformer kom som et resultat av oljekrisen i 1973.

Etter denne krisen ble altså varmepumpeteknologi sett på som en kur mot den økende avhengigheten av fossilt brensel. Andre alternativer var biomasse-energi, sol-energi, bølge-energi etc. Disse var alle uprøvde, alternative energiformer som fremdeles ville kreve mye forskning og arbeid før de kunne tas i bruk i stor skala. Med varmepumper var det noe annerledes. De teknologiske prinsippene er velkjente, og varmepumpepotensialet i Norge var ansett som lovende.

I de neste to tiårene fikk forskning på varmepumper nyte godt av til dels god finansiering, og varmepumper ble brakt på banen hver gang energiøkonomisering var et tema. På slutten av 70-tallet ble det startet opp et antall pionerinstallasjoner, og Norges første varmepumpe ble tatt i bruk i et kontorkompleks i Oslo i 1976. Varmepumpeteknologi ble også et stort satsningsområde ved daværende NTH.

Det første tilbakeslaget kom tidlig på åtti-tallet. Som et tiltak for energisparing ble varmepumper fremdeles sett på som positivt, særlig sett i lys av den svært kontroversielle Alta-utbyggingen og den påfølgende debatten om vannkraft. Men den store utbyggingen av varmepumper som man tidligere hadde spådd, særlig i forbindelse med utbygging av fjernvarmeanlegg, uteble. Dette var delvis fordi en av pionerinstallasjonene brøt sammen, noe som satte en stopper for den første store fjernvarmeutbyggingen. Tilsynelatende var problemet at til tross for lovende teknologi manglet man en kombinasjon av teknisk og praktisk innsikt for å få virkelige installasjoner til å fungere stabilt.

Etter dette tilbakeslaget kom en ny progressiv fase, drevet framover av Energi- og industridepartementet. Man satte i gang en storstilt demonstrasjon av varmepumpeteknologiens fordeler og dro også veksler på NTH/SINTEF-miljøet i Trondheim. Et stadig sterkere varmepumpemiljø ved de nevnte institusjonene bygde et lite, men iherdig nettverk rundt om i landet. Dette førte til de første store fjernvarmenettverkene, i Oslo, Bærum og Ålesund.

På slutten av åttitallet snudde det igjen. Mesteparten av forskningsmidlene ble kanalisert til det samme forskningsmiljøet. Få installasjoner ble bygd eller satt i drift på eget initiativ, og NTH/SINTEF hadde liten påvirkningskraft utenom sitt eget miljø. Noen egen norsk varmepumpeindustri vokste heller ikke fram. Det kunne se ut som man hadde et formidlingsproblem; kunnskapen fagmiljøene hadde om varmepumpers muligheter og fordeler nådde ikke fram, hverken til entreprenører eller forbrukere.



Det ble tatt et nytt initiativ og et program for implementering av varmepumper ble igangsatt i 1989. Her møtte man SINTEF/NTH med forskningsinstituttet IFE, som hadde erfaring med aktører på energimarkedet og energiøkonomisering. Et stort opplysningsarbeid ble satt i gang.

Denne nyorienteringen, kombinert med en omstrukturering av det nasjonale energimarkedet i 1992, førte til et stort subsidieringsprogram for varmepumper. Man snakket om at 20 TWh av det nasjonale forbruket på 110 TWh (1992) skulle komme fra varmepumper. På dette tidspunktet mente politikere og fagmiljø at varmepumpene var både teknisk og økonomisk pålitelige og at kunnskapen ute blant forbrukerne var god nok. Likevel lot den storstilte satsningen vente på seg. Derfor ble tilskuddene ytterligere økt. I 1993 subsidierte staten varmepumpeinstallasjoner med 40 %, en sum av totalt 500 mill NOK. Det samlede energibidraget fra varmepumper i 1993 var på 3,5 TWh, temmelig langt fra 20 TWh.

Så trådte økonomene fram på scenen. Man mente at subsidieringen ikke fungerte som de var ment å gjøre, særlig når det gjaldt små varmepumper for boliger. Skeptismen ute blant forbrukere og entreprenører var stor når det kom til små varmepumper; de ble ansett som uøkonomiske i drift og lite driftssikre. Det var derimot slike installasjoner finansdepartementet ønsket, siden de gjerne var makroøkonomisk lønnsomme, men ikke nødvendigvis mikroøkonomisk. Evalueringen viste seg at 70 % av de store subsidierte installasjonene ville ha vært lønnsomme uansett, mens subsidiering av små varmepumper gikk til prosjekter som ikke ville ha vært levedyktige uten statsstøtte. Så, om sommeren 1993, stoppet Stortinget statsstøtten til varmepumpeinstallasjoner. /5.10/

De siste årene har det vært langt mellom de store vannkraftutbyggingene. Til dels har dette sammenheng med at det også er slutt på den storstilte industriutbyggingen, men også med at det blir færre og færre steder igjen der det er økonomisk lønnsomt eller miljømessig forsvarlig å bygge ut vannkraft. Den siste tiden har det også vist seg å være politisk vilje til å verne vassdrag med utbyggingspotensial.

5.2 Hvorfor er situasjonen her så forskjellig fra i Sverige?

I Sverige har man per i dag 300 000 installerte varmepumper, mot 22 000 i Norge. Dette gir en produksjon på 17 TWh i Sverige og 4,5 TWh her i Norge. /5.1/

Hvorfor anvendelsen av varmepumper her i Norge er så forskjellig fra hva den er i Sverige, et naboland det er naturlig å sammenligne seg med, er et komplisert spørsmål å svare på. Faktorene er mange, uoversiktlige og tett vevd inn i hverandre.

5.2.1 Økonomi

Økonomi er bare en av disse faktorene. På energimarkedet er utfordringen å utnytte ressursene på en best mulig måte, til nytte for både samfunnet og den enkelte forbruker. For varmepumper har det ofte vært tilfelle at løsningene disse tilbyr er gode når man ser på samfunnsøkonomi isolert, men ikke tilstrekkelig forbruker-økonomiske. For den enkelte forbruker er varmepumper fremdeles for dyre, krever for store investeringer som knapt lar seg tilbakebetale over levetiden og tjener altså inn for lite.

5.2.2 Teknologi

For forbrukerne kan en varmepumpe virke som en teknisk barriere. Tidligere bestod kjølemediene gjerne av KFK-gasser, som virker nedbrytende på ozonlaget og som allerede på åttitallet fikk et dårlig rykte. Dessuten er en varmepumpe langt mer mekanisk komplisert enn elektriske panelovner og sentralvarmeanlegg basert på f.eks fossile brenslers. Kunnskapen er også for dårlig blant mange potensielle forbrukere, få har et klart bilde av hvordan en varmepumpe egentlig fungerer.

5.2.3 Miljø

I Norge blir fossile brenslers sett på som urene og forurensende, mens vannkraft blir ansett som rent og naturlig. På slutten av 70-tallet så man derimot på vannkraft og energiproduksjon fra et litt annet perspektiv. Under Alta- og Mardøla-utbyggingene reiste man spørsmålet om lokale interesser mot nasjonale interesser. Det som fremmet interessene til storsamfunnet var ikke nødvendigvis til fordel for lokalsamfunnet, og vassdrag hadde en verdi i seg selv. Miljøvernerne påpekte også at vannkraften ofte gikk til forurensende industri, og dermed ikke var så ren og uskyldig som mange likte å tro. Men fremdeles har den jevne nordmann en oppfatning av vannkraft som ren kraft.

5.2.4 Svensk energipolitikk

Den svenske energiproduksjonen kan deles inn i fem faser. Tiden fram til 1972 og starten av en debatt om sikkerheten ved kjernekraft og videre fram til 1980 og referendumet som ble holdt da i forbindelse med Three Mile Island ulykken. Årene som fulgte kan deles inn i perioden direkte etter dette referendumet, tiden etter Tsjernobyl-ulykken i 1986 fram til januar 1991 og tiden siden 1991-energiavtalen der man vedtok en utfasing av Sveriges bruk av kjernekraft. /5.2/

Noe av bakgrunnen for Sveriges større suksess med varmepumper kan være nettopp at Sverige har vedtatt en utfasing av den eksisterende kjernekraften og har fremdeles en strukturert satsning på varmepumper, samt dyrere el-priser enn her til lands.

5.3 Hindringer i Norge

Vannkraftanlegg er dyre, og om en institusjon ønsker å bygge et nytt vannkraftverk for å øke sin kapasitet, vil kostnaden per enhet øke dersom denne økte kapasiteten bare skulle benyttes til å møte lasttoppene. Derfor vil institusjonen ønske en jevnere lastkurve. For slike institusjoner vil sunn energiøkonomisering bety tiltak som gir jevnere lastkurve, ikke bare mindre energibruk.

Reduksjonen i bruk av fossile brenslers til oppvarmingsformål ble i Norge utført ved hjelp av aktiv regulering, blant annet skattlegging. Tidlig på åtti-tallet var prisforskjellen mellom olje og elektrisitet til oppvarming veldig stor, noe som gjorde at mange skiftet over til elektriske panelovner. Dette fordyrer en eventuell omlegging til geovarme i eksisterende boliger, siden infrastrukturen må skaffes til veie på nytt.

Midttun sin sosiologiske analyse av norsk energipolitikk fokuserer på stivhet/strenghet og uomstøtelighet på området. Han mener at langvarig og hardhendt politisk kontroll på området kombinert med industrielle interesser har dannet en sterk og relativt selvstyrt energinæring, der interaksjon med andre sektorer kontrolleres. Slik hindres nyskapning og satsing på



alternativ energi siden industrien har svært gode vilkår når det gjelder kraft og staten tar inn millioner av kroner i avgifter fra vannkraftverkene./5.3/

Thue tar til dels opp denne tråden i historien om norsk vannkraftutbygging. Like etter krigen var vannkraften hovedsaklig lokalt basert og eid av lokale myndigheter, men etterhvert ble den knyttet til staten og velstandsutvikling. Man hadde en "kraft-sosialisme", der kraft betydde jobber og framtid. Dette synet ble ikke utfordret i 50- og 60- årene. Senere ble utbredelsen av statlig involvering problematisert, men da var "institusjonen" allerede solid etablert, med langtids energi-kontrakter og store energi-intensive fabrikker./5.4/

Koblingen mellom stat og vannkraft kan være en av årsakene til at alternative energikilder frister en kummerlig tilværelse i Norge. Summerton studerte utvikling av fjernvarme-nettverk i Sverige og fant at denne var preget av gradvis utvikling som involverte et heterogent utvalg aktører og interessenter. I begynnelsen var energiøkonomisering bare en del av det store bildet, viktigst var Sveriges ønske om å være oljeuavhengig./5.5/

Hård and Olsson utvidet fjernvarmenettverkforskningen og sammenlignet erfaringer fra Danmark, Østerrike, Tyskland og Sverige. De fant at de fleste argumenter for fjernvarme har lokal rot og at lokale myndigheter har i de fleste tilfeller vært pådragsdriver. Målet har vært å gjøre kommunene selvforsynte. Store energi-institusjoner har vist liten interesse for slike anlegg og løsninger, siden de ser salg av elektrisitet som sin største interesse, og slike anlegg blir dermed en trussel for dem. /5.6/

Det er bare i Danmark at man har kunnet se fjernvarmeløsninger som en del av den nasjonale energipolitikken, takket være nasjonale energiplaner som ble laget etter oljekrisen. Altså er det bare i Danmark at staten (det nasjonale) støtter direkte oppunder det lokale. I de andre landene finnes denne koblingen mer indirekte, som skatteletter og subsidier.

Winner sier at "technical things have political qualities" og "technologies are ways of building order in our world". Han argumenterer at anvendelsen av teknologi har indirekte, men klare innvirkninger på den sosiale organiseringen. På den andre side vil bare en gitt sosial struktur tillate et gitt teknologisk system. Ut fra dette må man konkludere at en gitt nyvinning ikke vil fungere uten at både tekniske og sosiale betingelser er oppfylt./5.7/

5.3.1 El-pris

Pris og prisutforming har vært betraktet som hovedmekanismen for regulering av markedet i og med at energi i den vestlige verden betraktes som en vare og dermed er følsom for prisjusteringer /5.8/. Dette innebærer at man definerer forbrukerne som rasjonelle aktører og pris som en effektiv reguleringsmekanisme, slik at økte priser vil føre til redusert forbruk. En svensk undersøkelse ga derimot et helt annet svar: På en treårsperiode økte forbruket med 5 % samtidig som prisene steg med 55 %./5.2/ Det vil være rimelig å anta at dette kan gjelde like mye for valg av varmepumper.

En annen konsekvens av pris som eneste virkemiddel for å endre forbrukernes energivaner, er hvem disse tiltakene rammer. Tienda og Osei fant at lav-inntektsfamilier hadde færre muligheter til å håndtere effektene av økte energikostnader, mens mer velstående kunne bruke mer penger på energi eller kutte ned på luksusforbruket uten at dette gikk ut over den daglige komforten. /5.9/ Dette er interessant i forbindelse med varmepumper, siden investeringskostnadene er relativt høye.



I et land hvor utgiftsnivået ligger såpass høyt som i Norge og hvor tilgjengeligheten på vannkraft oppleves som nærmest utømmelig av forbrukerne, vil de fleste ha vanskelig for å akseptere økte strømpriser. Et slik virkemiddel kan derfor virke mer irriterende enn motiverende. Det å bruke straff som motivasjon er heller ingen god gulrot.

5.3.2 Holdninger

Det ledende syn i norsk energipolitikk er at teknologien også inneholder løsninger på de problemer teknologien måtte skape. Man tror tilsynelatende også at økonomisk lønnsomhet styrer teknologiutviklingen og hvorvidt den vil taes i bruk.

I dag styres energiforsyningen i det store og det hele av markedsmekanismer. Det innebærer at den individuelle forbruker tar sine valg på bakgrunn av teknologiske og økonomiske vurderinger enten de er bedrifter eller husholdninger. En politikk tuftet på dette syner forutsetter at energieffektiviserende teknologi blir tatt i bruk dersom den er lønnsom for forbrukerne.

I virkeligheten dominerer andre faktorer. Teknologiske systemer og faktorer setter klare grenser for hvilke valg som virkelig finnes. Eksisterende bygningskonstruksjoner kan være en begrensning dersom store investeringer må foretas eller dersom den nye teknologien forutsetter installasjon under oppføring. Å velge fjernvarme er eller ikke et reellt valg dersom nettet mangler, på grunn av de store investeringskostnadene.

De store kraftselskapenes politikk er en annen faktor. Konsern med store innteketer fra å tilby vannkraft har i dag ingen egeninteresse av å utvikle og tilby alternativ energi. Slik dominerer sentrale aktører på kraftmarkedet hva forbrukerne i realiteten har adgang til.

Strukturer i samfunnet kan også styre forbrukernes valg. Det sosiale nettverk vi er en del av, sammen med verdier og normer, påvirker våre valg av teknologi og energiløsninger. Normene handler ikke om energi i seg selv, men om hvordan vi lever våre liv. Normer handler slik sett om aktiviteter. Aktivitetsnivået utgjør energibruken sammen med energieffektiviteten. Kurvene over energieffektivitet for de siste år ser ut til å flate ut, noe som kan tyde på at de største effektivitetspotensialene på flere viktige områder allerede er tatt ut. Dermed kan Norge snart få et sprang i energieffektivitetet dersom forbrukerne ikke endrer sin energiintensive livsstil, men bare setter sin lit til teknologien.



6 Borekostnader

6.1 Kostnader forbundet med installasjon av varmepumpe

Prisen på boreoperasjonen varierer fra boreselskap til boreselskap. Eksempelvis opererer Hallingdal bergboring med følgende satser:

Tabell 6.1

<u>Takster i Hallingdal bergboring</u>				
		Brønn i berggrunn	Brønn i løsmasser	
Rigg		3500	3500	
Foringsrør	Meterpris (kr/m)	150	450	
	Antall meter (m)	3	120	<i>Antar 120 m dypt hull</i>
	Totalpris (kr)	450	54000	
Tilknytning	Meterpris (kr/m)	1100	660	
	Antall meter (m)	4	4	<i>Antar avstand mellom hus</i>
	Totalpris (kr)	4400	2640	<i>og hull på 4 m.</i>
Rustfritt filter	Meterpris (kr/m)		2500	
	Antall meter (m)		4	
	Totalpris (kr)		10000	<i>Man velger å bruke enten</i>
Plastbrønnrør	Meterpris (kr/m)		900	<i>rustfritt filter eller</i>
	Antall meter (m)		4	<i>plastbrønnrør</i>
	Totalpris (kr)		3600	
Sum (kr)		8350	70140	<i>Ved bruk av rustfritt filter</i>
			eller	
			63740	<i>Ved bruk av plastbrønnrør</i>

Som det framgår av overslaget, er det store forskjeller i pris på boring i løsmasser og boring i fast berggrunn. Årsaken er det sterkt økte behovet for foringsrør, som oppstår når man borer i et ”mykt” materiale som for eksempel leire, der faren for at hullveggen raser ut i hullet er stor. For å unngå en slik kollaps forer man derfor hullet med rør langs veggen. /6.1/

Ønsker man en litt grovere kalkyle, kan estimatet i ”System för värme och kyla ur mark –En nulägesbeskrivning” betraktes:



Tabell 6.2: Beløpene er omregnet fra SEK til NOK med en kurs på 0.8

Installasjonskapasitet	100 - 150 m pr time
Operasjonskostnad	320 kr pr m
Hulldybde	180 m
Varmevekslerpris	16 kr pr m slange
Slangelengde	360 m
Total kostnad	63360 kr

I Sverige har man laget følgende overslag på de totale kostnadene som følger med installasjon av varmepumpe.

Tabell 6.3: Totalkostnad, inkl. moms i SEK for installasjon av varmepumpe i en enebolig.
Kostnadene blir gitt for tre ulike varmevekslere i ulike geologier.

	Villa, direkte el			Villa, vannbåret el		
Investering						
Varmepumpe ¹ , median	30500			30500		
Installasjon ¹ , median	15000			1500		
Vertikal installasjon i løs leire	15400			15400		
Horisontal installasjon i løs jord ²		12000			12000	
Boring i berg			25540			25540
Varmtvannsbereder og elkasett ¹	20000					
Flashkonvektor ¹ 2 st	10000					
Kompressorutbytte eksklusive service	10000 per 20 år			10000 per 20 år		
Sum (middel)	100900	97500	111040	70900	67500	81040
Drift						
El for drift av varmepumpe	4000 per år			4000 per år		
El for tilsetningsvarme	1800 per år			1800 per år		
El til husholdning	3000 per år			3000 per år		
Sum per år	8800			8800		
Årskostnad for investering ⁴ og drift	18900	18600	19900	15900	15600	16900

1) *www.stern.se*, 20012) *Avser spiralformet slange i dike*3) *VET Aktuellt nr 1 1999 samt www.vet.se*, 20004) *Annuitetsfaktor 0,1*

7 Varmepumpekalkulator

Som beskrevet i foregående kapitler, er økonomien en viktig årsak til at så få varmepumper er installert i privatboliger i Norge. Å installere et varmepumpeaggregat med tilhørende distribusjonsnett for varmen er en betydelig investering, og mange har istedet valgt helelektrisk oppvarming av rom og tappevann, som har langt lavere investeringskostnader.

Hva er det så som avgjør om det er lønnsomt å velge varmepumpe til oppvarming? Flere faktorer inngår, og for å kunne gi svar på hvilke parametre som er av størst betydning, har gruppen programmert en liten kalkulator, et verktøy som skal hjelpe til å gi en pekepinn på spørsmålet. Under følger en beskrivelse av programmet 'VP-kalkis'.

7.1 VP-kalkis

Energibesparelsen ved å bruke varmepumpe er proporsjonal med energibruken til oppvarming. Energibruken til et gitt hus vil derfor være av de viktigste parametrene. På den andre siden, jo større energibehov, desto større må varmepumpeaggregatet være, som vil gi en større investeringskostnad. Effektbehovet vil være forskjellig ut ifra hvor i landet en bor. Hus i høyereliggende strøk vil ha et høyere maksimalt effektbehov enn tilsvarende hus i kystnære strøk. Energibehovet er derimot generelt lavere i innlandsstrøk.

Som størrelser for energi- og effektbehov, er det i VP-kalkis brukt ENØK-normtall /7.1/. Normtall er veiledende verdier for hva spesifikt energi- (kWh/m^2) og effektbehov (W/m^2) bør være for bygninger gitt geografi, bygningstype og oppføringsår. Normtallene er ikke gjennomsnittsverdier, men behovet ved godt isolerte bygg (ved gjeldende byggeforskrifter), og energi- og effektbehovet blir derfor noe mindre enn gjennomsnittet. Normtallene er kodet inn i en tredimensjonal matrise i VP-kalkis. Bygningskategorien (enebolig, rekkehus og blokk) gir sammen med geografisk beliggenhet og byggeår et koordinat i matrisa, og ved å multiplisere med husets grunnflate finnes totalt energi- og effektbehov.



Figur 7. 1: Brukergrensesnittet i Vpkalkis. Det som må angis er geografisk område for boligen, hustype og bruksareal, byggeår og hvordan en ønsker å distribuere varmen. Evt. støtte for VP- investeringen kan gis her. Ved å trykke 'Beregn' vil de økonomiske beregningene bli utført. Dersom avansert ikke er valgt, vil beregningene bli utført med default verdier.

Forskjellen på oppføringsårene 'Etter 1997' og 'Nytt' er kostnaden for investering i varmeavgivere. I et nytt bygg vil investeringskostnaden for radiatorer eller gulvvarme være merkostnaden for et vannbårent system i forhold til et helelektrisk. Dette kommer av at VP-kalkis regner nåverdien for differanseprosjektene VP og vannbårent system kontra et helelektrisk.

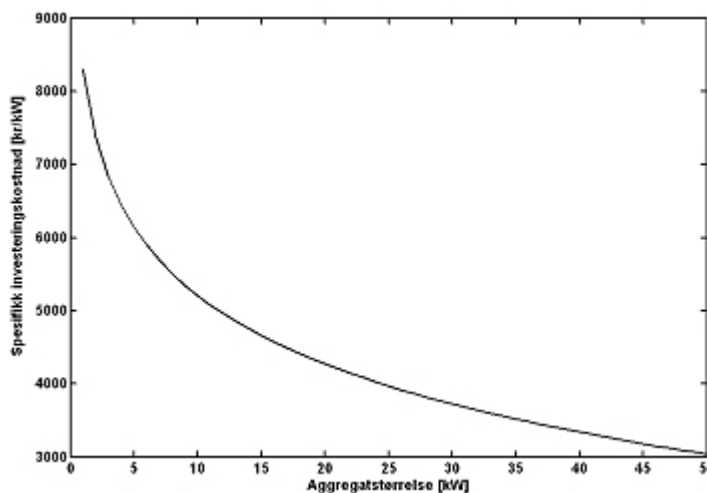
Å dimensjonere riktig effekt for ei varmepumpe er egentlig et optimaliseringsspørsmål. Det vil aldri lønne seg å la varmepumpa (VP) dekke hele effektbehovet. VP fungerer best når den

går på maksimal effekt og maksimalt effektbehov for oppvarming opptrer bare et fåtall dager i året. Riktig dimensjon finnes når årlig marginal besparelse for energiutgifter er lik den marginale årlige annuiteten av kapitalkostnaden for installert effekt. I VP-kalkis er denne optimaliseringa forenklet grovt til å si at i kystnære strøk dimensjoneres VP til å dekke 55 % av effektbehovet og dermed 95 % av energibehovet, mens for innlandsstrøk dekker VP 40 % av effektbehovet og 80 % av energibehovet /7.2/. Det resterende effektbehovet må dekkes av en annen effektkilde, f.eks oljekjel, elektriske panelovner eller vedovner. Uansett kilde regner VP-kalkis med at spisslasten har en energikostnad lik direkte bruk av elektrisitet.

Når det gjelder varmt tappevann, er tanken at varmepumpa kun skal forvarme vannet til ca. 45-50 °C og en ordinær elektrisk varmtvannstank ettervarmer videre til 65 °C (hygienekrav).

7.2 VP-kostnaden

Den spesifikke kostnaden (kr/kW) for ei varmepumpes effekt (kW) er en ikke-lineær sammenheng. Dess større aggregat en kjøper, dess mindre betaler en per installert effekt. Dette er med på å gjøre større anlegg mer lønnsomme enn mindre.



Figur 7. 2: Sammenhengen mellom aggregatstørrelse og spesifikk investeringskostnad. Større aggregat gir lavere kostnad pr. installert effekt enn mindre. Aggregater over 50 kW har en tilnærmet investeringskostnad på 2500 kr/kW.

Kurven vist over er tilpasset data fra installerte anlegg i drift, fra 1 kW helt opp til 1MW /7.3/. Ved hjelp av regneark og en rekursjonsfunksjon kom den beste tilpassede funksjonen fram. I VP-kalkis er denne kurven lagt inn som en metode (funksjon) som returnerer VP-kostnaden ved gitt effekt. Likning (7.1) viser sammenhengene:

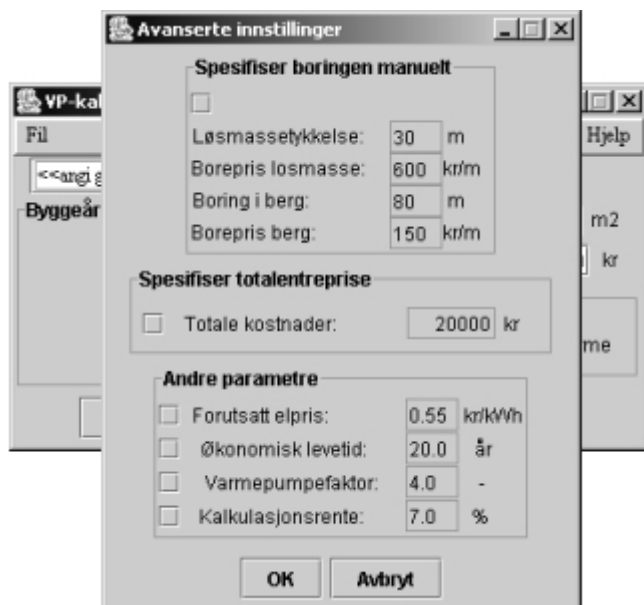
$$\begin{aligned} \text{vpKost} &= p_{\text{dim}} * (-1345.7 * \log(p_{\text{dim}}) + 8304.1), \text{ for } p_{\text{dim}} < 50 \\ \text{vpKost} &= p_{\text{dim}} * 2500, \text{ for } p_{\text{dim}} > 50, \end{aligned} \quad (7.1)$$

der vpKost = total investeringskostnad for VP-aggregatet [kr]
 p_{dim} = dimensjonert aggregatstørrelse [kW]

7.3 Avansert

I VP-kalkis ligger flere defaultverdier. Renten er satt til 7 % og varmepumpefaktoren (COP) er 4 på årsbasis. Elektrisitetsprisen er satt til 0.55 kr/kWh. Avvik fra den generelle prisstigningen må eventuelt tas hensyn til i kalkulasjonsrenta. Levetiden for systemet er 20 år og antatt totalentreprise for varmeopptaksystem og boring er 20000 kr. Alle disse verdiene kan brukeren av programmet selv definere i 'Avansert'.

Dersom man i har gode data for grunnen under huset, kan borepriser og tykkelse på løsmasser, samt hvor mye berg som må bores, legges inn. Her er det gjort slik at en enten kan legge inn boringen manuelt *eller* den totale kostnaden for borearbeid defineres som en totalentreprise.



Figur 7.3: I 'Avansert' kan en selv angi hvilke verdier en vil bruke i beregningene. Boringen kan spesifiseres manuelt dersom man har brukbare data for grunnen under huset, eller en kan velge en totalentreprise. Elpris, økonomisk levetid, COP og kalkulasjonsrente settes her.

Kalkulasjonsrenten er en viktig parameter i beregningene, og det kan diskuteres frem og tilbake om hva som er korrekt rente ved slike investeringer. Kalkulasjonsrenten er i bedriftsmessig sammenheng gjerne et avkastningskrav, og konkurrerer i så måte med andre investeringer, f.eks aksjekjøp (gjelder spesielt ved egenfinansiering). Privatøkonomisk er det ikke korrekt bruke den nominelle lånerenten direkte, fordi en får skattefordeler ved å låne penger. Renten en ville fått ved å sette pengene i banken kan heller ikke legges til grunn som et avkastningskrav.

I kalkulasjonsrenten skal prisstigning, skattefordeler og inflasjon tas med i betrakning. (7.2) viser hvordan den generelle renten kan beregnes.

$$r_G = \frac{1}{(1+e)} \cdot \left[\frac{r_n(1-s)-i}{(1+i)} - e \right], \quad (7.2)$$

der i = generell inflasjon (prisindeks)
 e = relativ prisendringsfaktor (avvik fra indeks)
 s = skattefaktor (marginalskatt)
 r_n = nominell finansieringsrente (lånerente)

Ved store skattefordeler er det ingenting i veien for at kalkulasjonsrenten blir negativ.

7.4 Noen sentrale metoder

Hele kildekoden i VP-kalkis er på vel 1000 kodelinjer og kan i sin helhet leses i vedlegget. Her vil noen de mest sentrale metodene bli gjengitt og gitt en liten forklaring.



7.4.1 getVPkostnad()

Metoden som er beskrevet i 7.2 *Vp-Kostnaden* tar inn informasjon om geografi og maksimalt effektbehov. Geoindex'en avgjør om det er snakk om et kystnært strøk eller innlandsstrøk. Er indeksen 0, 3 eller 5 er det kyst, og dimensjonerende effekt blir da $0.55 \cdot p_{\max}$, og for innland $0.40 \cdot p_{\max}$ (`else`). Investeringskostnaden for varmepumpa er gitt av (7.1) og returneres.

```
public double getVpKostnad(int geoIndex, double p_max){  
    if(geoIndex == 0 || geoIndex == 3 || geoIndex == 5) {  
        double p_dim = 0.55*p_max;  
        if(p_dim < 50.0){  
            vpKost = p_dim*(-1345.7*Math.log(p_dim) + 8304.1);  
        }  
        else {  
            vpKost = p_dim*2500.0;  
        }  
    }  
    else{  
        double p_dim = 0.40*p_max;  
        if (p_dim < 50.0){  
            vpKost = p_dim*(-1345.7*Math.log(p_dim) + 8304.1);  
        }  
        else {  
            vpKost = p_dim*2500.0;  
        }  
    }  
    return vpKost;  
}
```

7.4.2 Besparelsen

Den årlige besparelsen er som nevnt avhengig av hvor stor del av energibruken varmepumpa dekker. Med argumentasjonen som er ført, gis besparelsen henholdsvis for kyst og innland av:

```
if(kyst){  
    B = E*0.95*elPris*(1.0-(1.0/COP));  
}  
else {  
    B = E*0.80*elPris*(1.0-(1.0/COP));  
}
```

der B = årlig besparelse [kr]
 E = total årlig energibruk [kWh]
 $elPris$ = elektrisitetspris [kr/kWh]
 COP = årsvarmefaktor [-]
 $kyst$ = boolsk variabel



naaVerdi()

Nåverdien på sin enkleste grunnform er gitt av:

$$NV = B \cdot \frac{1 - (1 + r)^{-N}}{r} - I \quad [\text{kr}] \quad (7.3)$$

, der B = årlig besparelse [kr]
 r = kalkulasjonsrente
 N = beregningsperiode (levetid) [år]
 I = investering [kr]

I java blir metoden:

```
public double naaVerdi(double B, double I, double r, double t) {  
    return B * ((1.0 - Math.pow(1.0 + r, -t)) / r) - I;  
}
```

7.4.3 tilbakeBetalingsTid()

Tilbakebetalingstiden er gitt ved:

$$T = \frac{\ln\left(1 - \frac{I}{B} \cdot r\right)}{\ln(1 + r)} \quad [\text{år}] \quad (7.4)$$

, der B = årlig besparelse [kr]
 r = kalkulasjonsrente
 I = investering [kr]

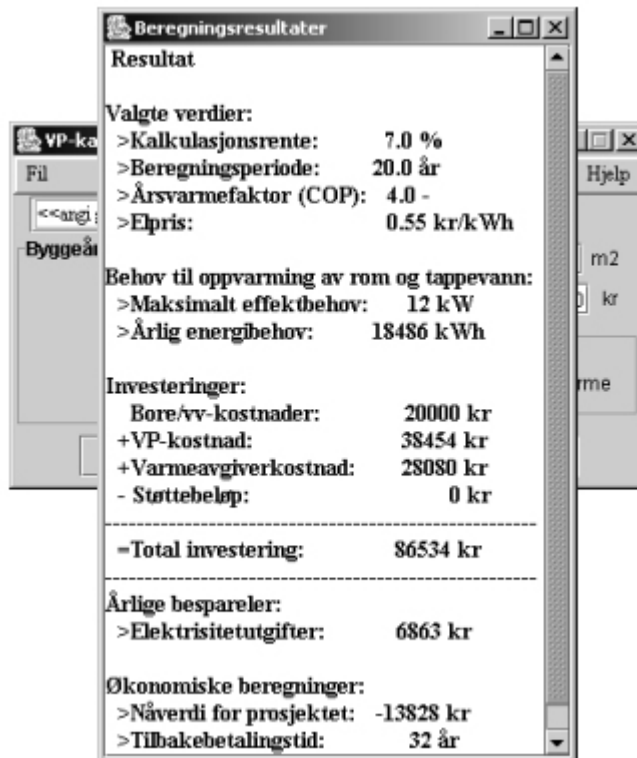
I java blir metoden:

```
public double tilbakeBetalingsTid(double B, double I, double r){  
    return (Math.log(Math.pow(1.0 - ((I/B) * r), -1.0)) / Math.log(1.0 + r));  
}
```

7.5 Resultat

Å gi et generelt svar på hva som må til for at det er lønnsomt å investere i ei geotermisk varmepumpe, er så godt som umulig. Mange faktorer er med på å bestemme lønnsomheten, og noen er til dels meget usikre. Dette gjelder spesielt elprisen, men alt tyder på at den vil nærme seg svensk nivå i løpet av få år.

Renten som brukes i beregningene er meget utslagsgivende for resultatet, og grunnforholdene kan være av en slik karakter at brønnboringen blir den største investeringskostnaden. I andre tilfeller utgjør boringen bare en brøkdel av totalinvesteringen. Tabell 7.2 gir noen resultater ved bruk av VP-kalkis, og viser tydelig effekten av å variere parametrene i beregningene.



Figur 7.4: Resultatene vises i et nytt vindu når 'Beregn' er trykket. Her vises alle verdier som er brukt og resultatene av beregningene. Et absolutt krav for en lønnsom investering, er at nåverdien er positiv (noe som ikke er tilfellet her).

I beregningene under er det tatt utgangspunkt i et "standardhus", en eldre enebolig på 200 m² på kysten i Sør-Norge. Utgangspunktet er 7 % rente, en elpris på 0.55 kr/kWh og årsvarmefaktoren er 4. Beregningsperioden (levetiden) er 20 år. Tabell 8.1 viser nåverdi og tilbakebetalingstid for huset med disse innstillingene. I tabell (8.2) er en og en parameter forandret i forhold til "standardhuset".

Tabell 7.1: Resultat for "standardhuset".

Nåverdi [kr]	22862
Tilbakebetalingstid [år]	13

Tabell 7.2: En og en parameter er justert for å vise virkningen av denne, for deretter å bli satt tilbake til utgangspunktet.

	Areal [m ²]		Rente		Elpris [kr/kWh]	
	100	300	2%	13%	0.35	0.70
Nåverdi [kr]	-1106	48745	77010	-10707	-13370	50036
Tilbakebet.tid [år]	21	10	9	nan	34	9
	Levetid [år]		Geografi (S.N)		Oppføringsår	
	15	25	Innland	Høyfjell	>1987	>1997
Nåverdi [kr]	8885	32827	7710	30706	-1621	-16198
Tilbakebet.tid [år]	13	13	17	12	21	57

8 Konklusjon

8.1 Lønnsomhet

Det er svært vanskelig å trekke generelle konklusjoner om hvorvidt installasjon av geotermiske varmepumper er lønnsomt eller ikke. Mange ulike faktorer spiller inn og de er flettet inn i hverandre.

En faktor er om det allerede er installert vannbåren varme i boligen eller ikke. Investeringen for installering av vannbåren varme i nybygg er mindre enn for eksisterende boliger med helelektrisk oppvarming. Dette fordi at kun merkostnaden av å installere vannbåren varme skal tas med i investeringskostnadene når en ser på om differanseprosjektet har en positiv nåverdi eller ikke. For allerede oppførte hus med helelektrisk oppvarming, vil en betydelig del av investeringskostnadene ligge i å etterinstallere et vannbårent varmedistribusjonsnett i huset. Å etterinstallere vannbåren varme i et hus bør derfor tas i forbindelse med oppussing, da en omlegging vil føre til store inngrep i bygningskonstruksjonen.

Eldre boliger har et større energibehov enn nyere, siden de ofte holder dårligere standard på isolering og ikke er like tette. Også størrelsen har betydning, besparelsen er nemlig proporsjonal med energibruken. Et større aggregat vil også gi mindre kostnader per installert kW.

Den kanskje vanskeligste faktoren å forutsi er grunnforholdene. I de tilfellene hvor man har berg helt opp i dagen eller vet at berget ligger nær overflaten er det noenlunde enkelt å estimere borekostnadene. Dette er nesten håpløst å vurdere der man har store løsmassemektigheter. De lokale variasjonene er store i Norge, selv over små områder, og der vil en måtte betale for ekstra forundersøkelser for å finne dybde til berg. I slike tilfeller vil det nok være mer fornuftig å vurdere løsmasse-varmepumper eller en luft til luft-løsning. Som påpekt i kapittel 6.1 er det store prisforskjeller for boring i berg og løsmasser, slik at løsmassetykkelsen vil ha stor innvirkning på lønnsomheten.

Hus i innlandsstrøk har et høyere effektbehov enn hus ved kysten, samtidig som kystnære strøk generelt har et større energibehov. Stort energibehov, men relativt lavt effektbehov er ideelt for bruk av varmepumper.

Levetiden er avgjørende for en varmepumpes lønnsomhet. Med en økning i levetid, vil lønnsomheten øke betraktelig. Årvarmefaktoren spiller også inn.

En svært viktig og usikker faktor er el-prisen. De fleste analytikere spår at strømprisene her til lands vil nærme seg nivået i Sverige. I så fall vil lønnsomheten for varmepumper øke betydelig relativt til helelektrisk oppvarming.

8.2 Virkemidler

8.2.1 Økte strømpriser

En økning av el-prisen vil som sagt øke lønnsomheten for en varmepumpe relativt til elektrisk oppvarming. Likevel er det ikke sikkert at en prisøkning vil gi de konsekvenene en ønsker. Dyrere strøm vil kunne ramme de som allerede har dårlig råd og som uansett ikke vil kunne ta



den investeringen en varmepumpe medfører. De med god økonomi kan like gjerne fortsette med sitt eksisterende forbruksmønster og ta seg råd til å betale ekstra, eller bare redusere på det som kan defineres som luksusforbruk. Undersøkelser i Sverige har vist at dyrere strøm ikke nødvendigvis gir redusert forbruk, og man kan tolke det dithen at man heller ikke vil få en omlegging til varmepumper.

Et annet aspekt er at noe som for forbrukerne føles som en straff ikke er noe egnet virkemiddel. Norge har allerede et høyt avgiftsnivå, og forfatterne ønsker heller en belønning av de som legger om til varmepumper snarere enn en straff til de som ikke gjør det.

8.2.2 Skatteletter

Å gi en relativt stor skattefordel ved lån til investering i en varmepumpe, kan gi store utslag økonomisk. En beregning utført med VP-kalkis viser at for en eldre enebolig på 120 m² vil tilbakebetalingstiden synke fra 18 til 12 år ved en senking av kalkulasjonsrenten fra 7 til 3 %. Kalkulasjonsrenten beregnes etter (7.2).

8.2.3 Støtte

På begynnelsen av 1990-tallet subsidierte staten varmepumpeinvesteringer med opptil 40 %. Som påpekt i kapittel 5.1 viste det seg at de fleste større varmepumpeinstalleringene ville ha vært lønnsomme uten subsidiering, mens subsidiering av små varmepumper gikk til prosjekter som ikke ville ha vært levedyktige uten statsstøtte.

8.3 Kart

I utgangspunktet ønsket gruppen å lage et kart over de områdene hvor installasjon av geotermisk varmepumpe ville være lønnsomt. Etterhvert innså gruppen at dette ville bli for ressurskrevende og at det krevde en omfattende kartlegging bare for å få tilstrekkelig kunnskap om geologiske forhold. Dette er forøvrig et arbeid NGU er i gang med.



9 Referanser

1 Innledning

- [1.1]: Hughes, T. (1983): "Networks of power. Electrification in Western Society 1880-1930", John Hopkins University Press, Baltimore
- [1.2]: Aune, M. (1997): "Nøktern eller nytende. Energiforbruk i hverdagsliv i norske husholdninger." Dr.polit.dissertation, STS-report 34, Trondheim: Center for Technology and Society, NTNU

2 Energi og Framtid

- [2.1] Norges vassdrags- og energidirektorat, NVE: <http://www.nve.no>

3 Teknikken bak varmpumper

- [3.1] Stene, J (1997): "Varmpumper – grunnleggende varmpumpeteknikk", SINTEF-rapport STF84 A97303. Trondheim.
- [3.2] Wilén, P. og Rhén, I. (1986). "Metoder och kostnader för anläggande av värmelager i mark med vertikala rör. Förstudie". Rapport 21. Jordvärmegruppen, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- [3.3] Avanti. (1996). "Brunnborrarhandboken 1996-11-15." Sveriges Avantiborrare Förening.
- [3.4] Nordell, B, Fjällström, K & Öderyd, L. (1998). "Water Driven Down-The-Hole Well Drilling Equipment For Hard Rock." Stockton Conf. 1998.
- [3.5] Tuomas, G. (2000). "Down-Hole Water Driven Hammer Drilling for BTES Applications". Proceedings 8th International Conference on Thermal Energy Storage, Terrastock 2000, Stuttgart, Germany, August 28-September 1, 2000. pp 503-508. Stuttgart University. Institute of Thermodynamics and Thermal Engineering.
- [3.7] Fallsvik, J, Gabrielson, A, Hellström, G, Nilsson, G & Rosén, B. "System för värme och kyla ur mark –En nulägesbeskrivning". SGI 2001.
- [3.8] Åkesson, M. (1998). "Mudd och återfyllnadsmaterial vid borrhning –vad, när och hur." Borrhsvängen nr 2/98. Geotec.
- [3.9] Lindborg, A. (1999). "Villavärmpumpar med energi från ytjord/energibrunn". Rapport 4994. Naturvårdsverket Förlag, Stockholm.
- [3.10] Mc Gray, K. B. (2000). "Guidelines for the Construction of Vertical Boreholes for Closed Loop Heat Pump Systems". Proceedings 8th International Conference on Thermal Energy Storage, Terrastock 2000, Stuttgart, Germany, August 28 – September 1, 2000. pp 459-465. Stuttgart University. Institute of Thermodynamics and Thermal Engineering
- [3.11] Brattli, B. (Institutt for Geologi og Bergteknikk, NTNU), Hilmo, B.O. (NGU), Hiort, E. (Brønnteknologiutvikling AS), Kalskin, R. (NGU) & Skarphagen, H. (NGU). "Tørre Brønner –En saga blott?"
- [3.12] Norsk Varmpumpeforening, NOVAP: webside. <http://www.novap.no>
- [3.13] Sandvik Rock Tools (1989). "Handbok i bergborrning". Sandvik Rock Tools.
- [3.14] Norges Geologiske Undersøkelse, NGU: <http://www.ngu.no>



4 Varmepumper og miljø

- [4.1] SINTEF: <http://www.energy.sintef.no/publ/xergi/2000/3/art-4.htm>
- [4.2] Bellona : <http://www.bellona.no/n/bm/11998/klima/varmp.htm>
- [4.3] Gemeni: <http://www.ntnu.no/gemini/1998-02/25.html>

5 Hvorfor har Norge så få varmepumper

- [5.1] Kalkskin, R : Forelesning 19.02.2002 fag SIG 0530, Løsmasser VK.
- [5.2] Lövestedt, R.E (1993): "Hard habits to break" i "Environment", vol.35 No.2 s. 11-35
- [5.3] Midtun, A (1989): "Forhandlingsøkonomi i en tungindustriell sektor" i K. Nielsen og O.K Pedersen, Forhandlingsøkonomi i Norden, Oslo: TANO
- [5.4] Thue, L. (1996): "Strøm og regulering : Norsk kraftliberalisme i historisk perspektiv", Ad notam Gyldendal, Oslo.
- [5.5] Summerton, J (1992): "District Heating comes to town", Linköping: Department of Technology and Social Change, Linköpings Universität
- [5.6] Hård & Olsson (1994): "I stället för kärnkraft", Stockholm: Carlssons Bokförlag
- [5.7] Winner, L (1980): "Do Artifacts have Politics?", Daedalus, vol.109, p. 121-136
- [5.8] Stern, P.C (1985): "Household Energy Use in a Political Context", i "Marriage and Family Review" no. 9 1-2 s. 15-27.
- [5.9] Tienda og Osei (1981): "Energyrelated Adoptions on Low-income Non-metropolitan Wisconsin-counties" i "Journals of Consumer research", vol.8.
- [5.10] Næsjø, P.C (2000): "Pumps and Circumstances. The Political Configuration of Heat Pump Technology in Norway." Dep.of Sociology and Political Science, NTNU. (STS-rapport nr 46).

6 Borekostnader

- [6.1] Tall fra Hallingdal Bergboring

7 Varmepumpekalkulator

- [7.1] ENØK normtall <http://www.enok-hl.no>
- [7.2] Stene, J: SINTEF Energiforskning, Klima- og Kuldeteknikk. Tabell fra undersøkelse han har utført.
- [7.3] Stene, J (1997): " Varmepumper – grunnleggende varmepumpeteknikk", SINTEF-rapport STF84 A97303. Trondheim.



10 Vedlegg: Kildekode VP-Kalkis

VpKalkis.java

```
import java.awt.*;
import java.awt.event.*;
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.*;

public class VpKalkis extends JPanel implements ActionListener {

    private JRadioButton rb1,rb2,rb3,rb4;
    public JFrame ramma,avansertRamme;
    private JButton lukkeKnapp, beregnKnapp, avansertKnapp, resetKnapp;
    private JTextField arealFelt,renteFelt,subsidieFelt;
    private JCheckBox gulvCh, panelCh;
    private JPanel panell1, panel2, panel3;
    private JComboBox geoValg,husValg;
    private final String[] husStreng = {"<<angi
hustype>>","Enebolig","Rekkehus","Blokke"};
    private double elPris,B,boreKostA,elPrisA;
    public double boreKost;
    private double r,t,COP,COPA,rA,tA,I;
    private int feilvalg,alderIndex;
    private boolean kyst,avansert,nytt,radiator;

    public VpKalkis(JFrame ramma){

        this.amma = ramma;
        feilvalg = 0;
        avansert = false;
        defaultVariable();
        radiator = true;

        Font menyFont = new Font("Times New Roman",5,12);
        Font labelFont = new Font("Arial",5,12);
        setLayout(new BorderLayout());

        //Setter opp menyen

        JMenuBar menyBar = new JMenuBar();
        menyBar.setLayout(new BoxLayout(menyBar,BoxLayout.X_AXIS));

        JMenu filMeny = new JMenu("Fil");
        JMenu hjelpMeny = new JMenu("Hjelp");
        JMenuItem exitItem = new JMenuItem("Avslutt");
        JMenuItem hjelpItem = new JMenuItem("Hjelp");
        JMenuItem aboutItem = new JMenuItem("Om VpKalkis");

        exitItem.setFont(menyFont);
        hjelpItem.setFont(menyFont);
        aboutItem.setFont(menyFont);

        filMeny.add(exitItem);
        filMeny.setFont(menyFont);
        hjelpMeny.add(hjelpItem);
        hjelpMeny.add(aboutItem);
        hjelpMeny.setFont(menyFont);

        exitItem.addActionListener(this);
        hjelpItem.addActionListener(this);
        aboutItem.addActionListener(this);

        menyBar.add(filMeny);
        menyBar.add(Box.createHorizontalGlue());
        menyBar.add(hjelpMeny);

        //Knapper, radioknapper og checkbokser

        lukkeKnapp = new JButton("Lukk");
        beregnKnapp = new JButton("Beregn");
        resetKnapp = new JButton("Nullstill");
        resetKnapp.addActionListener(this);
```



```
lukkeKnapp.addActionListener(this);
beregKnapp.addActionListener(this);
avansertKnapp = new JButton("Avansert");
avansertKnapp.addActionListener(this);

rb1 = new JRadioButton("Eldre");
rb2 = new JRadioButton("Etter 1987");
rb3 = new JRadioButton("Etter 1997");
rb4 = new JRadioButton("Nytt");
rb1.setFont(labelFont);
rb2.setFont(labelFont);
rb3.setFont(labelFont);
rb4.setFont(labelFont);

rb1.addActionListener(this);
rb2.addActionListener(this);
rb3.addActionListener(this);
rb4.addActionListener(this);

rb1.setToolTipText("Velg byggeår for boligen");
rb2.setToolTipText("Velg byggeår for boligen");
rb3.setToolTipText("Velg byggeår for boligen");
rb4.setToolTipText("Velg byggeår for boligen");

gulvCh = new JCheckBox("Gulvvarme");
gulvCh.setFont(labelFont);
gulvCh.addActionListener(this);
panelCh = new JCheckBox("Radiatorer");
panelCh.setFont(labelFont);
panelCh.addActionListener(this);
panelCh.setSelected(true);

// Comboboxer med label'er

geoValg = new JComboBox(geoStreng);
geoValg.setBackground(Color.WHITE);
geoValg.addActionListener(this);
geoValg.setSelectedIndex(0);
geoValg.setFont(new Font("Times New Roman",4,12));

husValg = new JComboBox(husStreng);
husValg.setBackground(Color.WHITE);
husValg.addActionListener(this);
husValg.setSelectedIndex(0);
husValg.setFont(new Font("Times New Roman",4,12));

JLabel arealText = new JLabel("Husets bruksareal:");
arealText.setFont(labelFont);
JLabel kvadText = new JLabel("m2");
kvadText.setFont(labelFont);
JLabel subsidieText = new JLabel("Etableringsstøtte:");
subsidieText.setFont(labelFont);
JLabel krText = new JLabel(" kr");
krText.setFont(labelFont);

//Tekstfelt

arealFelt = new JTextField(3);
subsidieFelt = new JTextField(4);
subsidieFelt.setText("0");
subsidieFelt.setHorizontalAlignment(JTextField.RIGHT);
subsidieFelt.setToolTipText("Angi subsidie");
subsidieFelt.addActionListener(this);

arealFelt.setToolTipText("Brutto oppvarmet gulvareal for boligen");

panel1 = new JPanel(new FlowLayout(FlowLayout.LEFT,10,1));
panel2 = new JPanel(new GridLayout(1,2));
panel3 = new JPanel(new FlowLayout());

menyBar.setBorder(new CompoundBorder(BorderFactory.createRaisedBevelBorder(),
new EmptyBorder(0,0,1,1));

ramma.setJMenuBar(menyBar);
JPanel radioPanel = new JPanel();
JPanel rentePanel = new JPanel();
```



```
JPanel varmePanel = new JPanel();
TitledBorder varmeRamme = BorderFactory.createTitledBorder("Varmeavgiver");
varmePanel.setBorder(varmeRamme);
varmePanel.add(panelCh);
varmePanel.add(gulvCh);

GridBagLayout gbl = new GridBagLayout();
GridBagConstraints gb1c = new GridBagConstraints();

radioPanel.setLayout(gbl);

panel1.add(geoValg);
panel1.add(husValg);

gb1c.anchor = GridBagConstraints.WEST;
gb1c.gridwidth = GridBagConstraints.REMAINDER;

gbl.setConstraints(rb1, gb1c);
radioPanel.add(rb1);
gbl.setConstraints(rb2, gb1c);
radioPanel.add(rb2);
gbl.setConstraints(rb3, gb1c);
radioPanel.add(rb3);
gbl.setConstraints(rb4, gb1c);
radioPanel.add(rb4);

TitledBorder tittelRamme = BorderFactory.createTitledBorder("Byggeår");
radioPanel.setBorder(tittelRamme);

rentePanel.setLayout(new FlowLayout());
rentePanel.add(arealText);

rentePanel.add(arealFelt);
rentePanel.add(kvadText);
rentePanel.add(subsidieText);
rentePanel.add(subsidieFelt);
rentePanel.add(krText);
rentePanel.add(varmePanel);

panel2.add(radioPanel);
panel2.add(rentePanel);

panel3.add(resetKnapp);
panel3.add(avansertKnapp);
panel3.add(beregnKnapp);
panel3.add(lukkeKnapp);

add(panel1, BorderLayout.NORTH);
add(panel2, BorderLayout.CENTER);
add(panel3, BorderLayout.SOUTH);
}

public void actionPerformed(ActionEvent e) {

    if (e.getActionCommand().equals("Eldre")) {

        rb1.setSelected(true);
        rb2.setSelected(false);
        rb3.setSelected(false);
        rb4.setSelected(false);

    }
    if (e.getActionCommand().equals("Etter 1987")) {

        rb1.setSelected(false);
        rb2.setSelected(true);
        rb3.setSelected(false);
        rb4.setSelected(false);

    }
    if (e.getActionCommand().equals("Etter 1997")) {

        rb1.setSelected(false);
        rb2.setSelected(false);
        rb3.setSelected(true);
        rb4.setSelected(false);

    }
}
```



```
if (e.getActionCommand().equals("Nytt")){
    rb1.setSelected(false);
    rb2.setSelected(false);
    rb3.setSelected(false);
    rb4.setSelected(true);
}
if (e.getActionCommand().equals("Gulvvarme") && panelCh.isSelected()){
    panelCh.setSelected(false);
    radiator = false;
}
if (e.getActionCommand().equals("Radiatorene") && gulvCh.isSelected()){
    gulvCh.setSelected(false);
    radiator = true;
}
if (e.getActionCommand().equals("Lukk")) {
    System.exit(0);
}

if(e.getActionCommand().equals("Avansert")){

    if (geoValg.getSelectedIndex() == 0){
        JOptionPane pane = new JOptionPane();
        pane.setMessageType(JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
        pane.showMessageDialog(this,"Du må velge geografi
        først!", "", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);

    }
    else {
        avanserteInnstillinger();
    }

}

if(e.getActionCommand().equals("Avslutt")){
    System.exit(0);
}
if(e.getActionCommand().equals("Nullstill")){
    geoValg.setSelectedIndex(0);
    husValg.setSelectedIndex(0);
    rb1.setSelected(false);
    rb2.setSelected(false);
    rb3.setSelected(false);
    rb4.setSelected(false);
    arealFelt.setText("");
    subsidieFelt.setText("0");
    defaultVariable();
}

if(e.getActionCommand().equals("Hjelp")){

    JFrame hjelpeRamme = new JFrame("Hjelp");
    hjelpeRamme.setDefaultCloseOperation(WindowConstants.DISPOSE_ON_CLOSE);
    hjelpeRamme.setSize(250,365);
    Point p = new Point(ramma.getLocation());
    int pX = (int)p.getX();
    int pY = (int)p.getY();
    hjelpeRamme.setLocation(pX+375,pY);
    HjelpeTekst ht = new HjelpeTekst();

    JTextArea ta = new JTextArea(s);
    ta.setLineWrap(true);
    ta.setFont(new Font("Arial",Font.PLAIN,12));
    ta.setWrapStyleWord(true);
    ta.setEditable(false);
    hjelpeRamme.getContentPane().add(new JScrollPane(ta));

    hjelpeRamme.setVisible(true);
}
if(e.getActionCommand().equals("Om VpKalkis")){
    JOptionPane pane = new JOptionPane();
    pane.showMessageDialog(this,"VP-Kalkis \n Et prosjekt i faget Eksperter
    i Team \n våren 2002!");
}
if(e.getActionCommand().equals("Beregn")) {

    if(geoValg.getSelectedIndex() == 0){
```



```
        feilvalg = 1;
        failure(feilvalg);
    }
    else if(husValg.getSelectedIndex() == 0){
        feilvalg = 2;
        failure(feilvalg);
    }
    else if (!rb1.isSelected() && !rb2.isSelected() && !rb3.isSelected() &&
!rb4.isSelected()){
        feilvalg = 3;
        failure(feilvalg);
    }
    else if (arealFelt.getText().equals("")){
        feilvalg = 4;
        failure(feilvalg);
    }
    else if (subsidieFelt.getText().equals("")){
        subsidieFelt.setText("0");
    }
    else {
        if(rb1.isSelected()){
            alderIndex = 0;
        }
        if(rb2.isSelected()){
            alderIndex = 1;
        }
        if(rb3.isSelected() | rb4.isSelected()){
            alderIndex = 2;
        }

        if (rb4.isSelected()){
            nytt = true;
        }
        else {
            nytt = false;
        }
        if(geoValg.getSelectedIndex() == 2 | geoValg.getSelectedIndex()
== 4 | geoValg.getSelectedIndex() == 6){
            kyst = true;
        }
        else {
            kyst = false;
        }
        double areal = Double.parseDouble(arealFelt.getText());
        startBeregning(geoValg.getSelectedIndex() -
1, husValg.getSelectedIndex(), alderIndex, areal);
    }
}

public void avanserteInnstillinger(){

    avansertRamme = new JFrame("Avanserte innstillinger");
    avansertRamme.setDefaultCloseOperation(WindowConstants.DISPOSE_ON_CLOSE);

    if(avansert){
        avansertRamme.getContentPane().add(new
AvansertPanel(this, rA, tA, COPA, elPrisA));
    }
    else {
        avansertRamme.getContentPane().add(new
AvansertPanel(this, r, t, COP, elPris));
    }
    avansertRamme.setResizable(false);
    avansertRamme.setSize(300, 375);
    Point p = new Point(ramma.getLocation());
    int pX = (int)p.getX();
    int pY = (int)p.getY();
    avansertRamme.setLocation(pX+90, pY+30);
    avansertRamme.setVisible(true);
    avansert = true;
}

public void defaultVariable(){

    r = 0.07;
    t = 20.0;
    elPris = 0.55;
```



```
boreKost = 20000.0;
COP = 4.0;
avansert = false;
I=0.0;
B =0.0;
}
public void failure(int err){

    if (err == 1){
        JOptionPane pane = new JOptionPane();
        pane.setMessageType(JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
        pane.showMessageDialog(this,"Du må velge geografisk område!", "",JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
    }
    else if (err == 2){
        JOptionPane pane = new JOptionPane();
        pane.setMessageType(JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
        pane.showMessageDialog(this,"Du må velge hustype!", "",JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
    }
    else if (err == 3){
        JOptionPane pane = new JOptionPane();
        pane.setMessageType(JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
        pane.showMessageDialog(this,"Du må velge alder på huset!", "",JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
    }
    else if (err == 4){
        JOptionPane pane = new JOptionPane();
        pane.setMessageType(JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
        pane.showMessageDialog(this,"Du må angi husets grunnflate!", "",JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
    }
}

public void startBeregning(int geo,int husType,int alder, double areal){

    Okonomen ok = new Okonomen();

    double spesEn = ok.getEnergiBehov(geo,husType,alder);
    double spesEff = ok.getEffektBehov(geo,husType,alder);

    double E = spesEn*areal;

    double subsidie = Double.parseDouble(subsidieFelt.getText());

    double vpKost = ok.getVpKostnad(geo,spesEff*areal*0.001);
    double varmegiverkost = 0.0;

    if(radiator){

        if(nytt){
            varmegiverkost = 30.0*areal;
        }
        else {
            varmegiverkost = 120.0*areal;
        }
    }
    else {
        if (nytt){
            varmegiverkost = 100.0*areal;
        }
        else {
            varmegiverkost = 300.0*areal;
        }
    }

    if(avansert){

        I = boreKostA + varmegiverkost + vpKost - subsidie;

        if(kyst){
            B = E*0.95*elPrisA*(1.0-(1.0/COPA));
        }
        else {
            B = E*0.80*elPrisA*(1.0-(1.0/COPA));
        }
    }
}
```



```
}
else {
    defaultVariable();

    if(kyst){
        B = E*0.95*elPris*(1.0-(1.0/COP));
    }
    else {
        B = E*0.80*elPris*(1.0-(1.0/COP));
    }

    I = boreKost + varmegiverkost + vpKost - subsidie;
}

double c = 0.0;
double elp = 0.0;
double rente = 0.0;
double tid = 0.0;
double bk = 0.0;
if (avansert){

    c = COPA;
    elp = elPrisA;
    rente = rA;
    tid = tA;
    bk = boreKostA;

}
else {

    c = COP;
    elp = elPris;
    rente = r;
    tid = t;
    bk = boreKost;

}

JFrame resRamme = new JFrame("Beregningsresultater");
resRamme.setDefaultCloseOperation(WindowConstants.DISPOSE_ON_CLOSE);
resRamme.setSize(300,365);
Point p = new Point(ramma.getLocation());
int pX = (int)p.getX();
int pY = (int)p.getY();
resRamme.setLocation(pX+100,pY+50);
float rt = (float)rente*100;
String rtS = Float.toString(rt);
String s = "";
}
JTextArea resTa = new JTextArea(s);
resTa.setLineWrap(true);
resTa.setFont(new Font("Times New Roman",Font.BOLD,14));
resTa.setWrapStyleWord(true);
resTa.setEditable(false);
resRamme.getContentPane().add(new JScrollPane(resTa));
resRamme.setVisible(true);

}

public double naaVerdi(double Bb,double Ii, double rr, double tt) {

    return Bb*((1.0-Math.pow(1.0+rr,-tt))/rr)-Ii;
}

public double tilbakeBetalingsTid(double Bb,double Ii,double rr){

    return (Math.log(Math.pow((1.0-((Ii/Bb)*rr)),-1.0))/Math.log(1.0+rr));
}

public static void main(String args[]){

    JFrame ramme = new JFrame("VP-kalkis '02");
    ramme.setDefaultCloseOperation(WindowConstants.DISPOSE_ON_CLOSE);
    ramme.getContentPane().add(new VpKalkis(ramme));
    ramme.setSize(400,230);
    ramme.setLocation(300,200);
    ramme.setResizable(false);
    ramme.setVisible(true);

}
}
```



Avansert.java

```
import java.awt.*;
import java.awt.event.*;
import javax.swing.*;
import javax.swing.event.*;
import javax.swing.border.*;

public class AvansertPanel extends JPanel implements ActionListener {

    private VpKalkis vpk;
    private JButton okKnapp, cancelKnapp;
    private JTextField renteFelt, meterLos, kostnadLos, berPerFelt, meterBerg,
        kostnadBerg, elPrisFelt, totalEntrFelt, COPFelt;
    private JCheckBox ch1, ch2, ch3, ch4, ch5, ch6;
    private double antMeterBerg, antMeterLos, krPrMeterLos,
        krPrMeterBerg, totalEntreprise, boreUtgift;
    private double r, t, COP, krPrkWh;

    public AvansertPanel(VpKalkis vpk, double r, double t, double COP, double kr){

        this.vpk = vpk;
        this.r = r;
        this.t = t;
        this.COP = COP;
        krPrkWh = kr;
        boreUtgift = 20000.0;

        float ren = (float)(r*100);
        String rStreng = Float.toString(ren);
        float ten = (float)t;
        String tStreng = Float.toString(ten);
        float COpen = (float)COP;
        String COPStreng = Float.toString(COpen);
        float kren = (float)kr;
        String elStreng = Float.toString(kren);

        setLayout(new BorderLayout());

        JPanel panel0 = new JPanel();
        JPanel panel2 = new JPanel();
        JPanel panel3 = new JPanel();
        JPanel panel4 = new JPanel();
        JPanel panel5 = new JPanel();

        okKnapp = new JButton("OK");
        cancelKnapp = new JButton("Avbryt");
        okKnapp.addActionListener(this);
        cancelKnapp.addActionListener(this);
        Font labelFont = new Font("Arial", 4, 12);

        //Oppretter checkboxer

        ch1 = new JCheckBox();
        ch1.addActionListener(this);
        ch2 = new JCheckBox();
        ch2.addActionListener(this);
        ch3 = new JCheckBox();
        ch3.addActionListener(this);
        ch4 = new JCheckBox();
        ch4.addActionListener(this);
        ch5 = new JCheckBox();
        ch5.addActionListener(this);
        ch6 = new JCheckBox();
        ch6.addActionListener(this);

        //Setter opp textlabelene

        JLabel losText = new JLabel("Løsmassetykkelse:      ");
        losText.setFont(labelFont);
        JLabel losBoreText = new JLabel("Borepris losmasse:      ");
        losBoreText.setFont(labelFont);
        JLabel bergText = new JLabel("Boring i berg:      ");
        bergText.setFont(labelFont);
        JLabel bergBoreText = new JLabel("Borepris berg:      ");
```



```
bergBoreText.setFont(labelFont);
JLabel renteText = new JLabel("Kalkulasjonsrente:      ");
renteText.setFont(labelFont);
JLabel elPrisText = new JLabel("Forutsatt elpris:      ");
elPrisText.setFont(labelFont);
JLabel andreText = new JLabel("Totale kostnader:      ");
andreText.setFont(labelFont);
JLabel meterText1 = new JLabel("m      ");
meterText1.setFont(labelFont);
JLabel boreText1 = new JLabel("kr/m      ");
boreText1.setFont(labelFont);
JLabel boreText2 = new JLabel("kr/m      ");
boreText2.setFont(labelFont);
JLabel meterText2 = new JLabel("m      ");
meterText2.setFont(labelFont);
JLabel renteTegn = new JLabel("%      ");
renteTegn.setFont(labelFont);
JLabel krkWh = new JLabel(" kr/kWh");
krkWh.setFont(labelFont);
JLabel totalKrText = new JLabel("kr      ");
totalKrText.setFont(labelFont);
JLabel berPerText = new JLabel("Økonomisk levetid:      ");
berPerText.setFont(labelFont);
JLabel aarText = new JLabel("år      ");
aarText.setFont(labelFont);
JLabel COPTText = new JLabel("Varmepumpefaktor:      ");
COPTText.setFont(labelFont);
JLabel copText = new JLabel("-      ");
copText.setFont(labelFont);

//Setter opp tekstfelt

meterLos = new JTextField(3);
meterLos.setText("30");
meterLos.setEditable(false);
kostnadLos = new JTextField(3);
kostnadLos.setText("600");
kostnadLos.setEditable(false);
meterBerg = new JTextField(3);
meterBerg.setText("80");
meterBerg.setEditable(false);
kostnadBerg = new JTextField(3);
kostnadBerg.setText("150");
kostnadBerg.setEditable(false);
renteFelt = new JTextField(3);
renteFelt.setText(rStreng);
renteFelt.setEditable(false);
elPrisFelt = new JTextField(3);
elPrisFelt.setText(elStreng);
elPrisFelt.setEditable(false);
totalEntrFelt = new JTextField(5);
totalEntrFelt.setText("20000");
totalEntrFelt.setHorizontalAlignment(JTextField.RIGHT);
totalEntrFelt.setEditable(false);
berPerFelt = new JTextField(3);
berPerFelt.setEditable(false);
berPerFelt.setText(tStreng);
COPFelt = new JTextField(3);
COPFelt.setEditable(false);
COPFelt.setText(COPStreng);

GridBagLayout gb2 = new GridBagLayout();
GridBagConstraints gbc2 = new GridBagConstraints();

TitledBorder spesRamme = BorderFactory.createTitledBorder("Spesifiser boringen manuelt");

panel2.setBorder(spesRamme);

panel2.setLayout(gb2);

gbc2.anchor = GridBagConstraints.WEST;
gbc2.gridwidth = GridBagConstraints.REMAINDER;
gb2.setConstraints(ch1,gbc2);
panel2.add(ch1);
panel2.add(losText);
gbc2.anchor = GridBagConstraints.CENTER;
```



```
gbc2.gridwidth = GridBagConstraints.REMAINDER;
gbc2.weightx = GridBagConstraints.RELATIVE;
panel2.add(meterLos);
gb2.setConstraints(meterText1, gbc2);
panel2.add(meterText1);

panel2.add(losBoreText);
gbc2.gridwidth = GridBagConstraints.REMAINDER;
panel2.add(kostnadLos);
gb2.setConstraints(boreText1, gbc2);
panel2.add(boreText1);

panel2.add(bergText);
panel2.add(meterBerg);
gb2.setConstraints(meterText2, gbc2);
panel2.add(meterText2);

panel2.add(bergBoreText);

panel2.add(kostnadBerg);
gb2.setConstraints(boreText2, gbc2);
panel2.add(boreText2);

GridBagLayout gb3 = new GridBagLayout();
GridBagConstraints gbc3 = new GridBagConstraints();
TitledBorder spesRamme2 = BorderFactory.createTitledBorder("Spesifiser
totalentreprise");
panel3.setBorder(spesRamme2);
gbc3.gridwidth = GridBagConstraints.REMAINDER;
gb3.setConstraints(ch2, gbc3);
panel3.add(ch2);
panel3.add(andreText);
panel3.add(totalEntrFelt);
gb3.setConstraints(totalKrText, gbc3);
panel3.add(totalKrText);

GridBagLayout gb4 = new GridBagLayout();
GridBagConstraints gbc4 = new GridBagConstraints();
TitledBorder spesRamme3 = BorderFactory.createTitledBorder("Andre parametre");
panel4.setBorder(spesRamme3);
panel4.setLayout(gb4);
panel4.add(ch4);
panel4.add(elPrisText);
panel4.add(elPrisFelt);
gbc4.gridwidth = GridBagConstraints.REMAINDER;
gb4.setConstraints(krkWh, gbc4);
panel4.add(krkWh);

gb4.setConstraints(aarText, gbc4);
panel4.add(ch5);
panel4.add(berPerText);
panel4.add(berPerFelt);
panel4.add(aarText);

gb4.setConstraints(copText, gbc4);
panel4.add(ch6);
panel4.add(COPText);
panel4.add(COPFelt);
panel4.add(copText);

panel4.add(ch3);
panel4.add(renteText);
panel4.add(renteFelt);
gb4.setConstraints(renteTegn, gbc3);
panel4.add(renteTegn);

panel5.setLayout(new FlowLayout());
panel5.add(okKnapp);
panel5.add(cancelKnapp);

panel10.add(panel2, BorderLayout.NORTH);
panel10.add(panel3, BorderLayout.CENTER);
panel10.add(panel4, BorderLayout.SOUTH);

add(panel10, BorderLayout.CENTER);
add(panel15, BorderLayout.SOUTH);
```



```
}

public void actionPerformed(ActionEvent e){

    if(ch1.isSelected()){
        ch2.setSelected(false);
        meterBerg.setEditable(true);
        meterLos.setEditable(true);
        kostnadLos.setEditable(true);
        kostnadBerg.setEditable(true);
        antMeterBerg = Double.parseDouble(meterBerg.getText());
        antMeterLos = Double.parseDouble(meterLos.getText());
        krPrMeterLos = Double.parseDouble(kostnadLos.getText());
        krPrMeterBerg = Double.parseDouble(kostnadBerg.getText());
    }
    if(!ch1.isSelected()){
        meterBerg.setEditable(false);
        meterLos.setEditable(false);
        kostnadLos.setEditable(false);
        kostnadBerg.setEditable(false);
    }

    if(ch2.isSelected()){
        ch1.setSelected(false);
        totalEntrFelt.setEditable(true);
        totalEntreprise = Double.parseDouble(totalEntrFelt.getText());
    }
    if(!ch2.isSelected()){
        totalEntrFelt.setEditable(false);
    }

    if(ch3.isSelected()){
        renteFelt.setEditable(true);
        r = Double.parseDouble(renteFelt.getText())/100.0;
    }
    if(!ch3.isSelected()){
        renteFelt.setEditable(false);
        float ren = (float)(r*100);
        String rStreng = Float.toString(ren);
        renteFelt.setText(rStreng);
    }

    if(ch4.isSelected()){
        elPrisFelt.setEditable(true);
        krPrkWh = Double.parseDouble(elPrisFelt.getText());
    }
    if(!ch4.isSelected()){
        elPrisFelt.setEditable(false);
        float kren = (float)krPrkWh;
        String elStreng = Float.toString(kren);

        elPrisFelt.setText(elStreng);
    }

    if(ch5.isSelected()){
        berPerFelt.setEditable(true);
        t = Double.parseDouble(berPerFelt.getText());
    }
    if(!ch5.isSelected()){
        berPerFelt.setEditable(false);
        float ten = (float)t;
        String tStreng = Float.toString(ten);
        berPerFelt.setText(tStreng);
    }

    if(ch6.isSelected()){
        COPFelt.setEditable(true);
        COP = Double.parseDouble(COPFelt.getText());
    }
    if(!ch6.isSelected()){
        COPFelt.setEditable(false);
        COP = 4;
        float COPen = (float)COP;
        String COPStreng = Float.toString(COPen);
        COPFelt.setText(COPStreng);
    }
}
```



```
}

if(e.getActionCommand().equals("OK")){

    if(ch1.isSelected()){

        boreUtgift = ((krPrMeterBerg*antMeterBerg)+(krPrMeterLos*antMeterLos));

    }

    else if (ch2.isSelected()){

        boreUtgift = totalEntreprise;

    }

    else {

        boreUtgift = 20000;

    }

    vpk.settAvanserteInnstillinger(boreUtgift,r,t,krPrkWh,COP);
    vpk.avansertRamme.dispose();

}

if(e.getActionCommand().equals("Avbryt")){

    vpk.defaultVariable();
    vpk.avansertRamme.dispose();

}

}
```

Okonomen.java

```
public class Okonomen {

    private int geoIndex,alderIndex;

    /*Tabellene for energi og effekt er enøk-normtall hentet fra
    http://www.enok-hl.no */

    private final double[][] W_ene =
    {{116.0,95.0,140.0,142.0,105.0,132.0,168.0},{73.0,59.0,89.0,91.0,65.0,83.0,108.
    0},{46.0,36.0,56.0,58.0,40.0,53.0,69.0}};
    private final double[][] P_ene =
    {{64.0,53.0,75.0,68.0,55.0,53.0,69.0},{47.0,39.0,54.0,49.0,40.0,38.0,50.0},{34.
    0,28.0,40.0,36.0,29.0,28.0,37.0}};
    private final double[][] W_rekk =
    {{94.0,80.0,120.0,122.0,89.0,113.0,144.0},{62.0,50.0,78.0,79.0,56.0,73.0,95.0},
    {44.0,30.0,48.0,50.0,35.0,45.0,59.0}};
    private final double[][] P_rekk =
    {{52.0,47.0,67.0,61.0,49.0,47.0,61.0},{39.0,35.0,49.0,45.0,36.0,35.0,45.0},{31.
    0,26.0,36.0,33.0,27.0,25.0,33.0}};
    private final double[][] W_blokk =
    {{76.0,61.0,92.0,94.0,68.0,87.0,112.0},{51.0,40.0,62.0,63.0,44.0,57.0,76.0},{36
    .0,28.0,44.0,45.0,31.0,41.0,55.0}};
    private final double[][] P_blokk =
    {{43.0,36.0,50.0,46.0,37.0,35.0,46.0},{33.0,27.0,39.0,35.0,28.0,27.0,36.0},{26.
    0,22.0,31.0,28.0,23.0,22.0,28.0}};

    public Okonomen (){

    }

    /*Metoden returnerer bygningens maksimale spesifikke effektbehov til oppvarming
    av bolig og varmt tappevann, gitt geografisk område, hustype og oppføringsår*/

    public double getEffektBehov(int geoIndex, int hus, int alderIndex){

        if(hus == 1){

            return (P_ene[alderIndex][geoIndex]+15.0);

        }

        if (hus == 2){

            return (P_rekk[alderIndex][geoIndex]+15.0);

        }

    }

}
```



```
    }

    else return (P_blokk[alderIndex][geoIndex]+14.0);
}

/*Metoden returnerer bygningens totale spesifikke energibehov til oppvarming
av bolig og varmt tappevann gitt, geografisk område, hustype og oppføringsår*/
public double getEnergiBehov(int geoIndex, int hus, int alderIndex){

    if(hus == 1){

        return (W_ene[alderIndex][geoIndex]+25.0);
    }
    if (hus == 2){
        return (W_rekk[alderIndex][geoIndex]+25.0);
    }

    else return (W_blokk[alderIndex][geoIndex]+18.0);
}

/*Metoden returnerer kostnad av innstallering av VP gitt geografi og
maximalt effektbehov, for eneboliger og rekkehus */
public double getVpKostnad(int geoIndex, double p_max){

    double vpKost = 0.0;

    if(geoIndex == 0 || geoIndex == 3 || geoIndex == 5) {

        double p_dim = 0.55*p_max;

        if(p_dim < 50.0){

            vpKost = p_dim*(-1345.7*Math.log(p_dim) + 8304.1);

        }
        else {
            vpKost = p_dim*2500.0;
        }
    }
    else{
        double p_dim = 0.40*p_max;

        if (p_dim < 50.0){

            vpKost = p_dim*(-1345.7*Math.log(p_dim) + 8304.1);

        }
        else {
            vpKost = p_dim*2500.0;

        }
    }

    return vpKost;
}
}
```