



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R90:1986

Signalanalys för dimensionering av värmelager

Bengt Simonsson
Björn Svedinger

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	
Plac	Ser

V/3
A

Byggeforskningsrådet

R90:1986

SIGNALANALYS FÖR DIMENSIONERING
AV VÄRMELAGER

Bengt Simonsson
Björn Svedinger

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 831411-9
från Statens råd för byggnadsforskning till VIAK AB,
Vällingby.

REFERAT

Rätt dimensionerade och utnyttjade värmelager ger stora möjligheter till effektivisering av energisystem för uppvärmning av bebyggelse. Således kan värmelager minska behovet av installerad toppeffekt i ett produktionssystem och utnyttjas för optimering av använda energislag, energiprisvariationer etc.

I denna rapport presenteras en nyutvecklad metod att med hjälp av signalanalys på uppmätt verklig energiförbrukning beräkna bl a

- . reduktion av installerad toppeffekt
- . lagerstorlek (krav) vid olika strategi
- . lagereffekt (krav)
- . besparing vid varierande energipriser

Metoden kan också användas för att simulera och åskådliggöra värmelagers funktion vid dimensionerande temperaturvariationer, antagna energipriser och valda driftstrategier.

Den utvecklade metodens användbarhet har dokumenterats med hjälp av uppmätta data från ett experimentbyggnadsprojekt vid Mätcentralen, KTH. Dess ingenjörsmässiga användning illustreras i ett exempel från ett mindre fjärrvärmenät. I rapporten ges också förslag till ett antal utvecklingsprojekt i syfte att testa och vidareutveckla metoden även för tillämpningar inom elenergi och vattenförsörjningssystem samt industriella processer.

I Byggeforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R90:1986

ISBN 91-540-4642-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1986

FÖRORD

Föreliggande rapport avser en undersökning över möjligheterna att använda signalanalys för att bestämma dimensionerande krav på värmelager i befintliga uppvärmningssystem. Den ursprungliga idén är presenterad som en licentiatavhandling på KTH "Värme i mark och vatten - analysmetodik vid dimensionering av anläggningar för värmeutvinning och värmelagring", Björn Svedinger, Stockholm, 1984.

Byggforskningsrådet har därefter anslagit medel till en förstudie i syfte att avgränsa ett fortsatt utvecklingsarbete och sedan ytterligare medel för att verifiera metodikens praktiska möjligheter.

Syftet med denna rapport är att genom belysande exempel visa att signalanalys är ett utmärkt hjälpmedel vid dimensionering och beslut om värmelager i befintliga uppvärmningssystem liksom även andra system med lagringsbehov. Analyserna har utförts vid VIAKs signalanalyslaboratorium. Mätdata har erhållits från Mätcentralen för Energiforskning på KTH.

Till samtliga medverkande riktas ett varmt tack.

Vällingby i mars 1986

Björn Svedinger
Projektledare

Bengt Simonsson

SAMMANFATTNING

Rätt dimensionerade och utnyttjade värmelager ger stora möjligheter till effektivisering av energisystem för uppvärmning av bebyggelse. Således kan värmelager minska behovet av installerad toppeffekt i ett produktionssystem och utnyttjas för optimering av använda energislag, energiprisvariationer etc.

Behovet av ingenjörsmässiga metoder att bestämma storlek och andra dimensionerande egenskaper vid tillämpning av värmelager i befintliga energisystem har uppmärksamats i det statliga energiforskningsprogrammet.

I denna rapport presenteras en nyutvecklad metod att med hjälp av signalanalys på uppmätt verklig energiförbrukning beräkna bland annat

- . reduktion av installerad toppeffekt
- . lagerstorlek (krav) vid olika strategi
- . lagereffekt (krav)
- . besparing vid varierande energipriser

Metoden kan också användas för att simulera och åskådliggöra värmelagers funktion vid dimensionerande temperaturvariationer, antagna energipriser och valda driftstrategier.

Den utvecklade metodens användbarhet har dokumenterats med hjälp av uppmätta data från ett experimentbyggnadsprojekt vid Mätcentralen, KTH. Dess ingenjörsmässiga användning illustreras i ett exempel från ett mindre fjärrvärmenät. I rapporten ges också förslag till ett antal utvecklingsprojekt i syfte att vidareutveckla och testa den föreslagna metoden.

Signalanalys har utvecklats inom bland annat akustik och vibrationsområdet och utnyttjas för bland annat läcksökning och tillståndskontroll inom flera tillämpningsområden. Den här föreslagna metoden att bestämma dimensionerande lageregenskaper i energisystem har på motsvarande sätt ett flertal tillämpningar såsom

- . elenergisystem
 - reduktion av effekttoppar
 - kraftvärmeproduktion
- . vattenförsörjning (VA-system)
 - utjämningsmagasin
- . industriella processer
 - effektstyrning
 - flödesutjämning

Ett fortsatt utvecklingsarbete inkluderar test av metoden även för dessa tillämpningar.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	<u>Sid</u>
FÖRORD	
SAMMANFATTNING	
1 INLEDNING	1
1 Bakgrund	1
2 Problemställning	3
3 Signalanalys	7
2 GENOMFÖRANDE	10
1 Mätdatainsamling - beskrivning av mätprojekt	10
2 Analysarbete	11
3 Praktikfall	13
4 Samråd	14
3 RESULTAT	15
1 Erforderliga mätdata	15
2 Rimlighetstest av mätdata - linjäritet	18
3 Filter som simulering av lager	19
4 Överföringsfunktion	20
5 Beräkning av lager, storlek - effekt	24
6 Kostnader	27
7 Exempel	28
4 SLUTSATSER	32
1 Praktiska tillämpningar	32
2 Rutin för analys av uppmätt tidsserie	34
3 Rutin för extrapolation	38
4 Fortsatt arbete	40
5 LITTERATUR	

Appendix:

1 Energy storage	(artikel)
2 Mätteknik	(information)
3 Signalanalys	(information)



1 INLEDNING

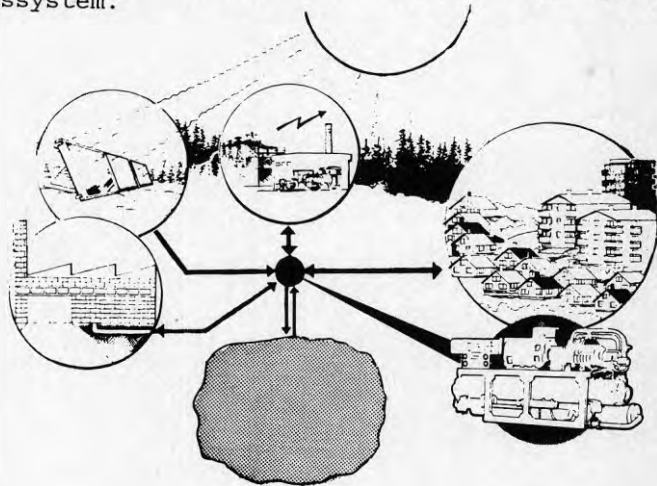
En stor del av Sveriges energianvändning åtgår för uppvärmning av bostäder och andra lokaler. För att minska vårt oljeberoende är bland annat energihushållning och ett effektivt utnyttjande av elenergi, fasta bränslen och på sikt även olika tillämpningar av solvärme nödvändiga. Mark och vatten erbjuder härvid stora möjligheter.

Energilagring får allt större betydelse för optimering av energisystem och utjämning av effekttoppar. Lagring av värme i trycksatta vattentankar för utjämning av dygnsvariationer är en aktuell tillämpning. Värmelagring i större skala har länge studerats för säsongslagring av solvärme inom det statliga energiforskningsprogrammet. Olika tillämpningar av energilager presenteras vidare i Appendix I.

1.1 Bakgrund

Behovet att utveckla en metod för att bestämma storlek och andra dimensionerande egenskaper hos lager i befintliga energisystem har uppmärksammats inom Byggforskningsrådets utvecklingsarbete rörande lokala energikällor.

De olika system och systemkombinationer som idag tillämpas för värmelagring i mark och vatten illustreras i figur 1.1. De kan anpassas till olika lokala naturförutsättningar. De har också olika tillämpning med avseende på energi- och effektbehov och är därmed lämpade för olika typer av bebyggelse och uppvärmningssystem.



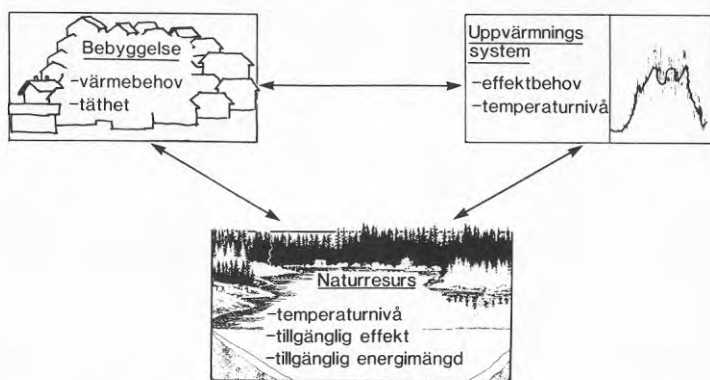
Figur 1.1 System för lagring av värme

Värmelagring i isolerade ståltankar används idag som utjämningsmagasin i olika typer av uppvärmningssystem. För att begränsa kostnader och värmeförluster vid säsongslagring är intresset stort för möjligheten att på olika sätt lagra värme under markytan. För värmelagring i jord, berg och vatten pågår utveckling på följande system:

- . gromagasin
- . bergrum
- . borrhålslager i berg
- . akvifer (grundvattenmagasin)
- . slangsystem i finsediment och organiska jordarter

Ett flertal olika utformningar av lager för olika ändamål provas idag i full skala. Lagret kan vara en del av uppvärmningssystemet eller vara anslutet via värmeväxlare. Värmeväxling kan ske direkt med vatten som värmebärare eller via slutna rörsystem med cirkulerande vätska. De sistnämnda blir "trögare" och har en lägre energitäthet.

Det är viktigt att olika system kombineras på ett optimalt sätt, utifrån aktuella förutsättningar och drifteknomiska aspekter. Tillämpningen bestäms därför av egenskaperna hos bebyggelse, uppvärmningssystem och den aktuella naturresursen inklusive dygns- och årstidsvariationer vilket illustreras i figur 1.2.



Figur 1.2 Samband mellan naturresurs, bebyggelse och uppvärmningssystem vid tillämpning av värme i mark och vatten

Erfarenheterna hittills avser främst värmepumpar som baslast och tekniskt inriktade fullskaleförsök med värmelager. Systemfrågor får allt större betydelse. I befintliga system är kunskapen om verkliga förhållanden begränsad. När anläggningen väl är dokumenterad är en annan svårighet att finna lämpliga analysmetoder.

Antalet inverkan parametrar är stort och simuleringssmodeller tenderar att bli komplicerade.

Situationen påminner om när modern elektronik och mikrokretsar gjorde det möjligt att på ett helt nytt sätt mäta och utvärdera mekaniska vibrationer i början av 1970-talet. Ett helt nytt tänkande introducerades genom signalanalys av uppmätta tidsserier och ett stort antal metoder och tillämpningar inom akustikområdet har utvecklats. Det är nu möjligt att tillämpa dessa beprövade metoder på energisystem och för de storheter som är avgörande i uppvärmningssystem.

I denna rapport beskrivs olika möjligheter att utnyttja signalanalytiska metoder. En bakgrund och ett antal hypoteser har tidigare presenterats som en licavhandling vid KTH. Dessa hypoteser har därefter legat till grund för en värdering genom anslag från Byggeforskningsrådet till VIAK varvid det konstaterades att även på andra håll, bland annat för statistisk bearbetning av klimatdata, utnyttjas frekvensanalys för att reducera antalet parametrar.

I ansökan till rådet om genomförande av ett fortsatt projektarbete presenterades ett förslag till relativt omfattande analysarbete och praktisk test på några anläggningar. I rådets beslut gjordes emellertid vissa begränsningar eftersom remissinstanserna var frågande till tillämpningsområden och användbarhet för den presenterade metodiken.

Denna rapport syftar således främst till att verifiera metodens praktiska användning i ingenjörsmässig verksamhet. Genomförda analyser har därför begränsats till ett minimum och istället för att inskaffa mätdata från olika objekt har allt arbete baserats på tillgängliga mätdata från ett enda experimentsbyggnadsprojekt. Eftersom resultatet är mycket positivt föreslås att som nästa steg genomföra ett fortsatt utvecklingsarbete i huvudsak enligt tidigare riktlinjer.

I rapportens inledning ges en kort presentation av problemställning och signalanalytisk teori. Under kapitel 2, "Genomförande", redovisas utfört arbete med erhållna resultat i kapitel 3. I kapitel 4, "Slutsatser", diskuteras olika tillämpningsområden med förslag till fortsatt utvecklingsarbete.

1.2 Problemställning

Bebbyggelsens omfattning och energiförsörjning i Sverige såg för något år sedan ut som nedanstående sammanställning visar. Det omfattande hushållnings- och oljeersättningsprogram som genomförts har dels minskat det totala behovet och dels minskat oljebehovet till stor del genom övergång till el. Ett fortsatt

utvecklingsarbete syftar till att även på sikt minska behovet av el.

Antal lägenheter	Energi-förbrukning	El-värme	Olje-panna	Fjärr-värme
Enbostadshus (1,6 miljoner)	50 TWh	31%	62%	7%
Flerbostadshus (2,1 miljoner)	45 TWh	3%	62%	35%
Lokaler (160 miljoner m ²)	50 TWh			

Värmebehovet varierar mellan olika delar av Sverige beroende på klimat och bebyggelse. Glesbygd och olika tätorter har härvid helt olika förutsättningar för sin uppvärmning. Uppvärmningssystemets utformning beror bl a av

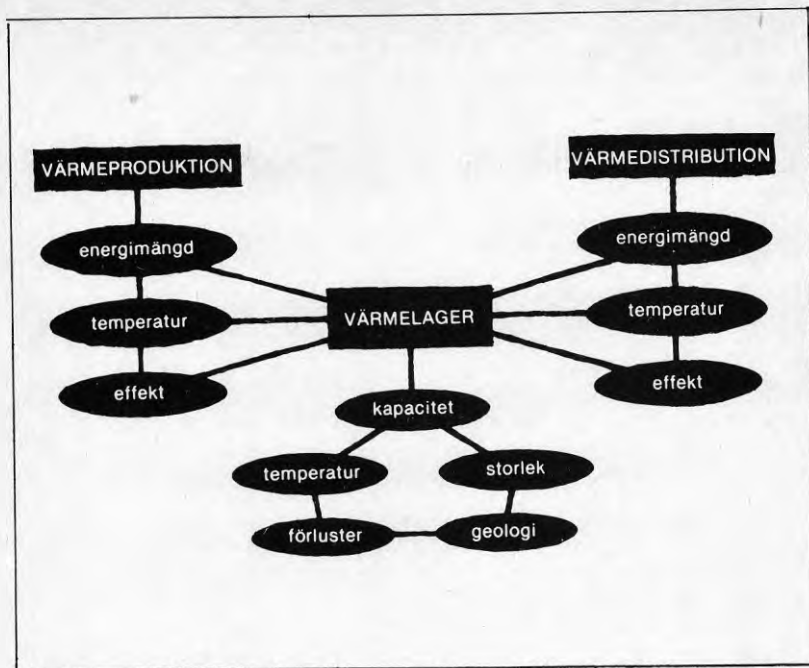
- . bebyggelsestruktur/värmetäthet
- . temperaturkrav/variationer
- . värmemedier (luft/vatten)
- . storlek (individuellt/gruppcentral/fjärrvärme)

samt distributionssystemets temperaturnivå och valda energislag för produktion av värme.

Temperaturnivån är en avgörande faktor vid introduktion av nya energislag i befintliga uppvärmningssystem. Konventionella fjärrvärmenät är t ex dimensionerade för en maximal framledningstemperatur av ca 120°C. Uppvärmningssystem i befintliga bostäder är som regel dimensionerade för en framledningstemperatur av 80-90°C. Dessa temperaturnivåer behövs emellertid endast under extremt kalla perioder och returtemperaturen är alltid lägre.

Dimensionering av ett värmesystem med värmepumpar och värmelager innebär en ekonomisk optimering med hänsyn till aktuella energi-, effekt-, och temperaturbehov samt geologiska förutsättningar. Sambanden mellan olika inverkanse faktorer kan schematiskt illustreras enligt figur 1.3 .

Den traditionella dimensioneringsmetodiken utgår från ett varaktighetsdiagram med för orten givna villkor beträffande dimensionerande utetemperatur (DUT). Ur varaktighetsdiagrammet erhålls uppgifter om energiförbrukning och erforderlig effekt. Detta är tillfyllt vid en produktionsanläggning som är oberoende av temperatur. För optimal dimensionering av värmesystem med värmepumpar och värmelager är det emellertid nödvändigt att studera det verkliga tidsförloppet.



Figur 1.3 Inverkande faktorer vid dimensionering av energisystem med värmelagring.

Det är emellertid svårt att ingenjörsmässigt arbeta med en tidsserie. Dimensioneringsarbetet försvåras av att samtliga ingående storheter är tidsberoende. Beräkningsprogram blir lätt komplicerade och svåravvändbara. Det är också svårt att ange dimensionerande parameter och definiera befintliga uppvärmningssystem.

Bland svårigheterna märks:

- Värmelasten bestäms av en mängd lokala förhållanden såsom utetemperatur, sol, vind, och lokalklimat samt brukarbeteenden
- Bebyggelsen varierar lokalt med avseende på tröghet (tung och lätta byggnader), värmebehov och dygnsvariationer (sjukhus, kontor och bostadshus har olika karakteristika)
- Uppvärmningssystemet har varierande utformning med lokalt olika möjligheter till reglering av temperaturer och flödes hastighet samt färförskjutning mellan fram- och returledning vid väderomslag.
- Värmepumpars prestanda bestäms av såväl värmekällans som värmemottagarens temperaturnivå och dess lönsamhet av aktuella energipriser.

Värmelagers lönsamhet bestäms av hur många gånger per säsong det kan utnyttjas med hänsyn till då aktuella temperaturnivåer (tekniskt villkor) och aktuella energipriser (ekonomiskt villkor)

Detta är bara några exempel som också visar att varje system är unikt. Vid användning av värmelager komplieras bilden av valda strategier för lagrets roll. Värme kan erhållas från ett flertal lokalt tillgängliga värmekällor såsom

- . indirekt solvärme (naturvärme)
- . spillvärme
- . fastbränsleförbränning
- . kraftvärmeproduktion
- . solfångare

med under dygnet och året varierande tillgänglighet.

Ett värmelager har olika karakteristika avseende bl a

- . värmekapacitet
- . effekttröghet
- . temperaturnivå
- . värme- och temperaturförluster
(termodynamisk verkningsgrad (%))

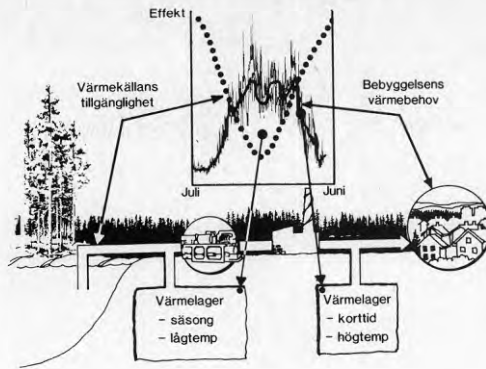
vilket gör respektive värmelager mer eller mindre lämpat för

- . utjämningslager (timmar)
- . korttidslager (dygn-veckor)
- . säsongslager (månader)

En förutsättning för meningsfulla ekonomiska jämförelser mellan olika värmelager är därför att samtliga inverkanse faktorer beaktas. Den energi som kan sparas genom lagring måste värderas mot aktuella energipriser i varje enskilt fall.

Den principiella systemuppbyggnaden illustreras i figur 1.4. Bebyggelsens värmebehov utjämnas med hjälp av korttidslager vilket dels minskar behovet av installerad effekt och dels möjliggör utnyttjande av intermitterant tillgänglig överskottsenergi. En värmepump vars värmekälla "förbättras" med hjälp av ett billigt säsongsvärmelager utnyttjas som baslast.

En fullständig analys av ett uppvärmningssystem måste också inkludera effekter av energihushållning och ett kombinerat utnyttjande av värmepump och värmelager liksom differentierade energitaxor. För befintliga system tillkommer också svårigheter att dokumentera systemets egenskaper under en dimensionerande period.

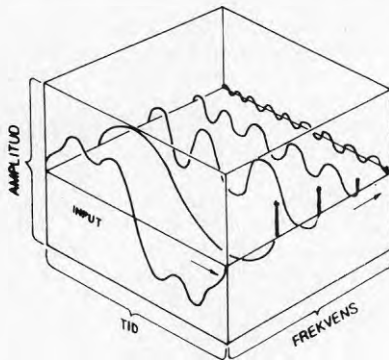


Figur 1.4 Uppvärmningssystem med värmepump och värmelager

1.3 Signalanalys

Signalanalys kan vara mer eller mindre avancerad. Den förste att matematiskt analysera förloppet av periodiska funktioner var den franske matematikern Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768-1830). Fourier hade för avsikt att analysera värmeförlopp men hans metoder har dock mest tillämpats i andra sammanhang.

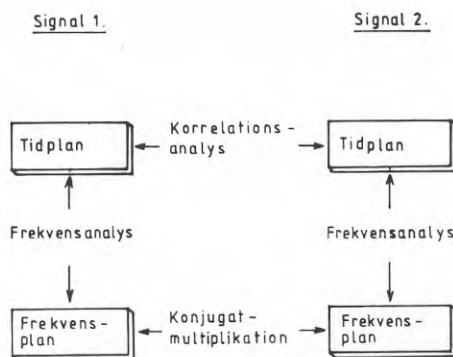
Frekvensanalys (eller Fourier-analys) utförs för att bestämma vilka frekvenser som förekommer i en signal. I princip utförs en transformation från ett tidplan till ett frekvensplan. Resultatet blir att en tidserie avbildas som funktion av frekvens och fas enligt figur 1.5.



Figur 1.5 Illustration av frekvensanalys

Fourieranalys utförs med hjälp av dator. Denna utför normalt s k FFT /Fast Fourier Transform) med flera matematiska finesser för att kunna "manipulera" funktionerna i både tid och frekvens. Detsamma kan göras med hjälp av speciell signalanalysator som innehåller även andra program och rutiner för att analysera och jämföra tidserier med varandra.

Jämförelse av två signaler kan utföras i tid- och/ eller frekvensplan med hjälp av olika analysrutiner enligt illustration i figur 1.6.



Figur 1.6 Illustration av olika analysmetoder för bestämning av dynamiska parametrar

Korrelationsanalys utförs i tidplan för att söka bestämma likheter mellan två signaler samt tidsdifferensen mellan dessa likheter. Resultatet redovisas i ett diagram som visar en relativ överensstämmelse vid olika tidsförskjutning.

Konjugatmultiplikation utförs i frekvensplan för att t ex studera gemensamma frekvenser och fasrelationer mellan två signaler. Med polära koordinater erhålles ett beloppmaximum vid en gemensam frekvens. Motsvarande fasläge anger skillnaden i fas mellan de två signalerna.

Överförings- och koherensfunktion är speciella rutiner för beskrivning av vad som händer med en signal vid passage genom ett system. I rutinerna ingår både frekvensanalys och konjugatmultiplikation.

Exempel:

	Insignal	System	Utsignal
TIDPLAN	$x(t)$	$h(t)$	$y(t)$
FREKVENSPPLAN	$X(f)$	$H(f)$	$Y(f)$

Överföringsfunktioner är en matematisk beskrivning av ett system och kan användas för att definiera förhållanden mellan två signaler. Överföringsfunktionen anger förändringen hos olika frekvenser och erhålles i exemplet som ovan.

$$H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)}$$

Med polära koordinater erhålles som belopp systemets förstärkning och som fas systemets fasvridning vid respektive frekvens.

Koherensfunktioner anger hur mycket av utsignalen som verkligen beror av insignalen och kan användas för att bedöma överföringsfunktionens tillförlitlighet. Är koherensen <1 är systemet antingen olinjärt eller också finns mer än en signal i systemet. Koherensfunktionen är således statistisk och saknar innebörd vid enstaka signaler.

Signalanalytiska metoder är utvecklade främst för analys av vibrationer och är därför mycket snabba. Fördelarna är många. Långa tidserier av data kan t ex reduceras till ett betydligt färre antal parametrar med hjälp av frekvensanalys. Det har t ex visat sig möjligt att representera meteorologiska data från en 20-årsperiod (175 000 timvärden) med hjälp av 75 Fourier-koefficienter utan att förlora väsentlig information.

En viktig tillämpning av signalanalytiska metoder är relaterat till mätförfarandet. Inom t ex vibrationsområdet har rutiner utvecklats där man mäter under en kort tidsperiod och definierar systemets dynamiska egenskaper. Dessa kan sedan användas för att bestämma systemets respons vid valfri dynamisk belastning under antagande av linjära förhållanden.

2 GENOMFÖRANDE

För att kunna genomföra projektet krävdes mätdata från en värmeanläggning. Önskemålet var att hitta en anläggning som innehöll både fjärrvärmeinformation och lokala uppvärmningssystem i aktuellt fjärrsystem. Vid studie av lagerstorlekar för säsongslager krävs samtidigt kontinuerliga mätdata för minst 2-3 år.

Vi har varit i kontakt med Mätcentralen för Energiforskning på KTH och undersökt vad de har för data insamlade. Efter genomgång av deras projekt fann vi ett projekt i Märsta som uppfyllde våra krav. Överförda mätdata har därefter analyserats på VIAKs signalanalyslaboratorium.

2.1 Mätdatainsamling - beskrivning av mätprojekt

Mätcentralen för Energiforskning (MCE) på KTH arbetar i huvudsak med mätdatainsamling för olika typer av energiprojekt som finansieras av Bygghälsorådet. MCE har haft hand om mätdatainsamlingen för ett projekt inom Stockholms läns landsting där man arbetar med energibesparande åtgärder.

Projektet genomförs vid ett sjukhem i Märsta strax norr om Stockholm. Märsta sjukhem är ett pilotprojekt för energisparande, där anläggningen utifrån en fastlagd layout projekteras med skilda bygg- och installationstekniska lösningar.

De olika tekniska lösningarna utvärderas med avseende på funktion, energibesparing och ekonomi. Mätdata insamlas kontinuerligt under ordinarie verksamhet för uppställande av energibalanser över husdelar och enskilda komponenter. Projektet i sin helhet har innehållit omkring 300 mätkanaler med timmedelvärdet under drygt 3 år. Av dessa har vi fört över och utnyttjat cirka 25 mätkanaler inklusive utetemperatur.

Vi har valt fjärrvärmesidan, dvs inkommande energi till sjukhemmet innehållande både uppvärmning och tappvarmvatten. Sedan har vi valt ett mindre uppvärmningsnät innehållande radiatorer i en huskropp A där viss uppvärmning också sker med luftburna värme. Vi har också valt det lokala nät som försörjer hela det luftburna värmesystemet. Dessutom har vi valt tre lokala nät i det luftburna systemet som har mest traditionell styrning.

Samtliga data finns lagrade på magnetband i ett HP1000-system. Den utrustning vi själva använder är ett HP bordsdatorsystem i 200-serien. Trots att det är samma leverantör av de olika systemen fanns det inga färdiga rutiner för dataöverföring. I början lyckades vi överföra en mätkanal innehållande ett års data på 3 timmar.

Då lagrade vi data på disketter på MCE som med konvertering gick att läsa med det system som finns på VIAK.

Detta insåg vi snart skulle ta alltför lång tid att genomföra. Senare valde vi att ta med HP 200-systemet till KTH och koppla ihop system via en dataöverföringssnitt. Efter diverse tester lyckades vi komma ner i överföringshastigheter på cirka 3 minuter för lika mycket data som tog tre timmar tidigare.

Innan dataöverföringar gjordes utnyttjades MCE programsystem MUMS, som är ett speciellt program för behandling av tidseriedata. Programmet utnyttjades för val av aktuella mätkanaler ur den stora databanken. Valda kanaler "städades" från diverse "skräp" som fanns i datamängden. Därefter konverterades data till ASCII-kod för att kunna läsas av andra datasystem.

Denna del av arbetet har gett oss erfarenheter om hur framtida datainsamling och dataöverföring bör genomföras. En generell erfarenhet är att datainsamling om möjligt bör planeras tillsammans med den som senare ska utföra analysen.

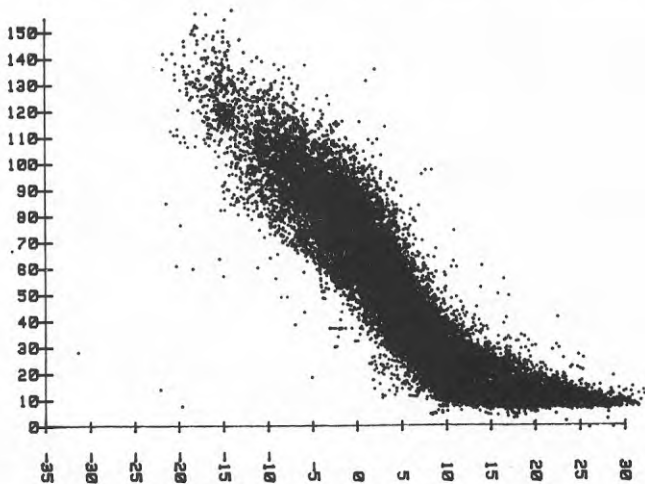
2.2 Analysarbete

Vid analysarbete har huvudkomponenten bestått av en "Dynamic signal analyzer Hewlett Packard 3562A" tillsammans med en bordsdator typ Hewlett Packard 9816. Signalanalysatorn är främst anpassad för direkt analys av analoga signaler inom frekvensområdet 0-100 kHz, som i huvudsak är aktuell inom akustik, vibrationsteknik och reglerteknik. Det är emellertid också möjligt att utföra analyser på lagrade digitala tidsdata. Mer detaljer framgår av datablad med specifikationer i Appendix.

Under arbetets gång har ett programpaket tagits fram för att klara nödvändiga analyser. Programpaketet består i princip av ett program med ett antal underprogram för olika analyser och databehandling. Nedan beskrivs innehållet i programmet samt kortfattad information om syftet med delprogrammen.

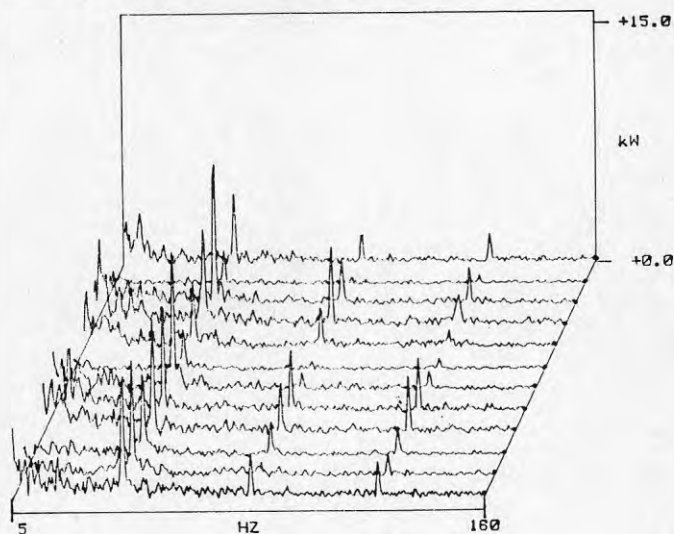
- * Datakonvertering - Mätdata som lagrades vid MCE gick ej att läsa direkt utan konverterades till en fil för varje mätkanal och treårsperiod. Modulen inkluderar en rutin för "städning av data"
- * Aritmetiska beräkningar - Konverterade mätdata bestod av filer med endast uppmätta data. Det krävdes möjligheter att addera, subtrahera, multiplicera och dividera kanaler med varandra samt även använda konstanter i beräkningen.

- * Kompression av data - Varje kanal bestod av 3 års timmedelvärden, dvs drygt 26 000 värden. Denna programmodul skapar medelvärdsbildade data, exempelvis dygnsmedelvärden.
- * Expansion av data - Denna rutin interpolerar fram t ex halvtimmesvärden ur ursprungsmaterialet. Observera att denna rutin ej tillför mer information utan endast omformar data för att kortare tidsperioder ska passa analysatorns tidsfönster.
- * Tvåkanalanalys - Ovanstående moduler skapar hela tiden filer som är direkt läsbara av analysatorn för att göra enkanaliga analyser. I vissa fall har vi varit intresserade av tvåkanalsanalyser. Denna modul lägger upp en fil med information om två separata kanaler som senare kan analyseras tvåkanaligt med analysatorn.
- * Frekvensbehandling - Denna rutin används för att behandla frekvensanalyserade data. Här finns möjlighet att nollställa vissa frekvenser. Används för att t ex simulera idealt lågpas-filter. I denna modul finns även möjlighet att expandera respektive komprimera data i frekvensdomän. Detta kan jämföras med motsvarande moduler ovan för expansion respektive kompression av timmedelvärden, men skillnaden är att denna modul arbetar med data för olika frekvenser.
- * Relationsplott - Rutin för punktvis plottning av två olika kanaler i förhållande till varandra. Till exempel plottas effekt längs Y-axeln och utetemperatur längs X-axel. Dessa plottar genomförs för att avgöra spridningen under en mätperiod.



Figur 2.1 Exempel på relationsplott

- * Regressionsanalys - Relationsplottningen var ej tillräcklig för att avgöra om materialet kunde uppfattas som linjärt. För detta utvecklades en modul som kan utföra minsta kvadratanpassning av olika funktioner till en datamängd samt beräkna en regressionskoefficient.
- * Volym- och effektberäkning - Denna modul beräknar en mängd uppgifter för ett simulerat lager med en bestämd skärfrekvens. Resultatet redovisas i tabellform.
- * Lageroptimering - Detta program simulerar olika storlekar av lager med utgångspunkt från effektdata. Som resultat erhålls ett diagram med lagervolym i kWh som funktion av skärfrekvens.
- * Kostnadsanalys - Modul för beräkning av kostnadsbesparingar med hänsyn till antingen olika energipriser för olika tider på dygn respektive säsong eller effektberoende energipriser.



Figur 2.2 Frekvensspektra för effektvariationen för olika 3-månaders perioder under 3 år

2.3 Praktikfall

Under arbetets gång blev det mer och mer intressant att göra praktiska tester av modellen samt studera hur verkliga lager beter sig ur filtersynpunkt.

Diskussioner pågår med Hässelbyverket i västra Stockholm. Vid Hässelbyverket finns tre trycksatta vattentankar om vardera 2200 m³ som används för lagring i

fjärrvärmenätet. Man är där intresserad av om denna analysmetod kan ge information om hur stora besparingar lagret ger. Man har även planer att utnyttja ett berg-rum som tidigare använts för oljelagring. Interesse finns att beräkna kostnadsbesparing med bergrummet som värmelager.

I Ånge finns ett fjärrvärmeverk med ett mindre lager. Man förbereder för närvarande (våren 1986) mätningar som skall användas för att beräkna besparingskostnaderna för lagret för att eventuellt utöka lagret.

Det har ej varit möjligt att inom projektets ram studera dessa aktuella praktikfall. Det är emellertid önskvärt att göra detta i ett fortsatt projekt för att tillsammans med energitekniker verifiera metodens tillförlitlighet.

2.4 Samråd

Under arbetets gång har samråd med energitekniker och andra förekommit för att underlätta arbetets gång. I januari 1985 presenterades metoden på ett endagars seminarium, anordnat av BFR.

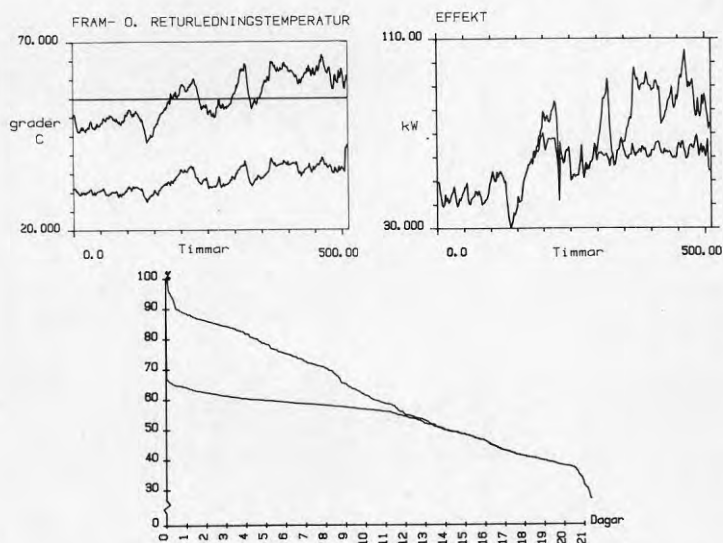
I september 1985 besöktes en konferens i Kanada som i huvudsak handlade om värmelagerproblematiken. På konferensen hölls ett anförande där dimensioneringsmetoden beskrevs. Dessutom beskrevs metoden med en uppsatt "poster". Konferensen gav värdefull information om lager av olika slag. Samtidigt testades våra idéer på en del delegater. De flesta synpunkterna var positiva men det förekom även negativ kritik. Genom vidare diskussioner med kritikerna framkom bland annat att kritiken främst berodde på oförståelse för metoden.

I projektets slutskede har metoden också presenterats för energitekniker inom VIAK och Rejlers, varvid flera tillämpningsmöjligheter konstaterats. Stort intresse har också visats från tekniker vid Vattenfall och Stockholms Energi, ett intresse som ökat sedan behovet av utjämnningar även i elenergisystem har ökat. Metoden har också presenterats för BFRs utvärderingsgrupp.

Det finns alltså en intresserad "marknad" för metoden, men den ingenjörsmässiga tillämpningen måste verifieras ytterligare med praktikstudier.

3 RESULTAT

Signalanalys kan vara mer eller mindre avancerad. I huvudsak avses behandling och beräkning etc för att åstadkomma en datareduktion för att lättare kunna göra bedömningar av materialet. Ett typiskt exempel i energisammanhang är att ställa upp varaktighetsdiagram över t ex temperatur, effekt under en tidsperiod av ett år.



Figur 3.1 Illustration av möjligheter att presentera mätdata och simulera funktionen hos en värmepump i ett befintligt värmesystem

3.1 Erforderliga mätdata

I vårt fall arbetar vi med en signalanalysator som i huvudsak används för analoga signaler men mycket väl klarar data från andra mätsystem. Signalanalysatorer vare sig de är i form av flexibla datorprogram eller i form av färdiga mätsystem arbetar med fasta tidsfönster med typiska periodlängder av 256, 512, 1024 datapunkter o s v... Detta medför att man helst vill jobba med en bestämd mängd data för att det skall passa aktuellt analysystem.

I vårt fall arbetar systemet med 2048 punkter. Med timmedelvärden innebär detta en mättid på knappt 3 månader. Vill man arbeta med kortare perioder övergår man t ex till halvtimmesmedelvärdet vid mätning. Då hamnar man på ungefär 6 veckor, vilket vi också anser är den kortaste period man bör analysera över i normala fall.

Vid bestämning av hur ofta avläsning av givare skall ske är man beroende av den högsta intressanta frekvensen. Om den rena dygnsvariationen är av intresse måste man göra avläsning minst 2 ggr/dygn för att kunna detektera dygnsfrekvensen. Väljer man att göra avläsning 2 ggr/dygn och det trots allt finns snabbare variationer i systemet orsakar detta fel för andra frekvenser, s k "vikningsdistorsion". För att lösa detta väljer man att göra avläsning dubbelt så ofta som den snabbaste variation som finns eller också medelvärdesbildar man signalen under perioden mellan avläsningarna.

$$t = 1/(2f)$$

t = tid mellan avläsningarna

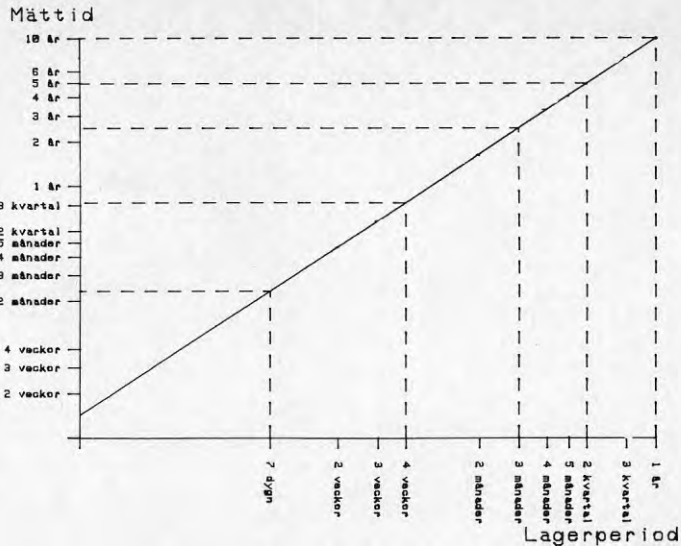
f = högsta intressanta frekvens hos signalen

OBS! Om det finns högre frekvenser än f i signalen måste medelvärdesbildning ske mellan avläsningarna.

Mätperiodens längd kan bestämmas genom att utnyttja statistiska teorier om sannolikhet att erhålla rätta mätvärden.

I samband med randomnessignaler, till vilket dessa typer av temperadata hör, använder man uttrycket BT-produkt. B är bandbredd i frekvens och T är mättid. En vanlig storlek på BT-produkter är 10. Detta medför att ett enstaka urval har 68,3% chans att ligga inom $\pm 16\%$ av ett riktigt värde.

Med en BT-produkt av 10 erhålls att man måste mäta i minst 10 dygn. Av resonemanget ovan framgår att det trots allt kvarstår en osäkerhet, man kan mycket väl ligga utanför ovanstående 68%. Det händer t ex om man mäter under en period med konstant temperatur. Om årslagring skall studeras bör man alltså ha mättider upp till 10 år. Ovanstående resonemang är rent statistiskt och är oberoende av om man är intresserad av frekvenser eller ej. Det gäller i princip all datainsamling.



Figur 3.2 Illustration av mätperiodens längd som funktion av olika lagerstrategier

I sammanhang med dimensionering av värmelager är effektbehovet viktigast. Med effekinformation är det möjligt att bestämma sparad maxeffekt hos produktionsanläggningen och krav på lagrets maxeffekt samt bestämma storlek på lagret i form av energivolym. Men även temperatur i anläggningen är av intresse för att skapa bättre underlag för dimensionering av värmeväxlare, regleringsfilosofi och liknande.

För att göra rimlighetsbedömningar av materialet är utetemperaturen viktig informationskälla. Vill man utnyttja överföringsfunktionen för att expandera analysen för längre perioder än mätperioden, är utetemperaturen ett krav.

Innetemperaturen har i det studerade projektet varit konstant. Nattsänkning av innetemperatur kan liksom andra olinjäriteter marginellt påverka dimensioneringsprocessen.

Vid all mätning där det handlar om mer än en mätkanal är det nödvändigt att samtliga mätkanaler avläses simultant, dvs arbetar man med timmedelvärden skall dessa avläsas samtidigt i samtliga mätkanaler.

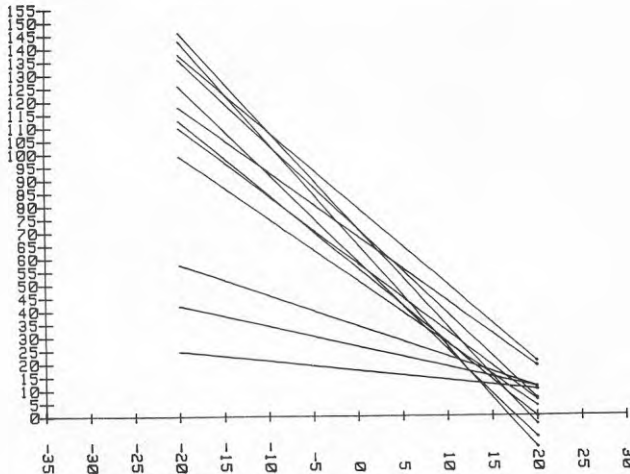
För att en mätserie skall vara användbar får bortfall i datamängden inte vara för stor. Problem uppstår främst när bortfall sker under längre perioder (10%, dvs 4-5 dgr) vilket medför att mätningarna ej ger helt tillförlitliga resultat.

3.2 Rimlighetstest av mätdata - linjäritet

De flesta typer av dimensioneringar som genomförs kräver att systemen skall vara linjära för att prognoser för framtiden skall vara möjliga. Utnyttjande av den här föreslagna metoden kräver också att systemen är linjära eller att olinjäriteten kan definieras.

Linjäritet innebär att effektförbrukningen följer en rät linje när utetemperaturen ändras. Om utetemperaturen sänks med säg 5 grader ökar effektbehovet med 10 kW. Ändras temperaturen ytterligare 5 grader skall effekten ändras 10 kW igen för att systemet skall uppföra sig linjärt. Sommarperioder är typiska tider då ett värmesystem ej uppför sig linjärt.

Vi har inom projektet gjort linjäritetstest med hjälp av minsta kvadratmetoden. Studium av linjäritet har gjorts på effektförbrukning som funktion av utetemperatur. För att lättare tyda resultatet har vi gjort en extra minsta kvadratanpassning där man anpassar en andragsgradskurva till materialet. Blir anpassningen inte bättre för andragsgradsekvation kan man säga att materialet uppför sig linjärt.



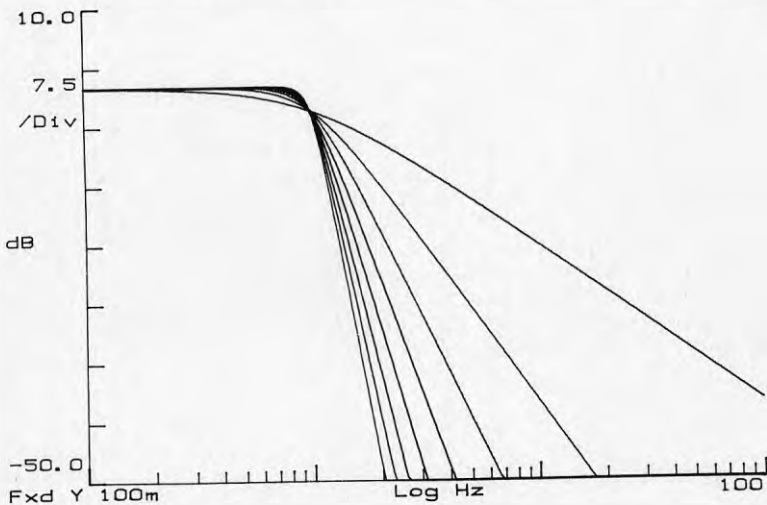
Figur 3.3 Illustration av linjäritet hos analyserat material

Resultatet av anpassningarna har gett att vårperioden samt i viss mån även vinterperioden uppför sig det testade systemet linjärt. Sommarperioden däremot avviker ordentligt från den räta linjen. Förklaringen till olinjäritet under sommarperioden beror på att då kan värmesystemet i princip vara avstängt då ingen uppvärmning krävs.

3.3 Filter som simulering av lager

Beskrivning av ett lager med hjälp av filter är en av grundstenarna i detta projekt. Filter används i många sammanhang för att plocka bort, sortera bort (filtrera) delar av ett material som icke är önskvärt. Inom elektronik används filter för att "plocka" bort frekvenser i en signal som man ej är intresserad av. Det finns filter som tar bort låga frekvenser eller höga frekvenser och där man kombinerar dessa för att ta bort både höga och låga frekvenser.

Om man tar ett värmelager som lagrar extra energi på natten för att använda under dagtid och energiproducenten kan gå med jämnare belastning dag och natt har man ett typiskt "lågpasfilter". Detta "filter" har då filtrerat bort dygnsfrekvensen. Filtrets karakter är avgörande. Ett lågpas-filter kan bland annat ha olika gränshfrekvens och branthet. Brantheten bestämmer hur kraftigt frekvenser över gränshfrekvensen kapas bort. Brantheten hos ett filter påverkas av "poltalet" vilket bestämmer hur mycket filtreringen ökar med ökad frekvens.



Figur 3.4 Filterkarakteristik för filter med olika poltal och konstant gränshfrekvens

Vi har studerat effekten av att variera gränshfrekvens och poltal hos filter och funnit att båda påverkar resultatet. En hypotes är att olika typer av lager också har olika filteregenskaper. För att klara ut denna variation måste man samla mätdata från ett antal olika typer och storlekar av lager för att ta reda på hur dessa uppför sig ur filtersynpunkt.

För ögonblicket har vi ej ägnat tid åt direkt studium av hur befintliga lager beter sig. Vi har istället valt att använda ett idealt filter som över gränshfrekvensen klipper bort alla variationer (skärfrekvens). Nackdelen med detta förfarande är att effekten av filtret överdrivs. Studium av ett lagers verkliga beteende lämnas att utredas framöver genom att studera mätningar från byggda och testade lager.

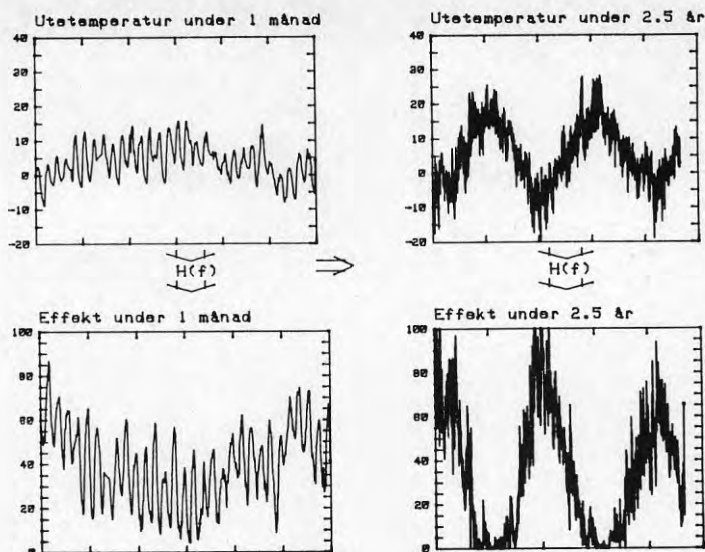
Vid test av de ovan beskrivna filtren med olika poltalar fann vi en "fasförskjutning", dvs att den filtrerade effektkurvan kom lite "efter" den ofiltrerade ursprungskurvan. Frågan är om detta är något som förekommer hos verkliga lager. Detta kan möjligen höra ihop med "effekttröghet" som förekommer i vissa stora system. Vi har möjligen här metoder att utreda och förklara samt precisera vad effekttröghet är.

3.4 Överföringsfunktion

Överföringsfunktion (transferfunktion) är ett signalanalytiskt begrepp som används inom främst reglerteknik, akustik och vibrationsteknik. Överföringsfunktionen är en funktion i frekvens som beskriver ett system dynamiskt (se kap 1.3).

Ett exempel: Vi har en "svart box" i ett system med en signal in och en signal ut. Vad som finns i boxen vet vi ej. Man kan bestämma överföringsfunktionen mellan signalen på ingången och utgången genom mätning. Resultatet av detta är en beskrivning av vad som händer vid olika frekvenser.

Överföringsfunktionen beskriver "boxen" för olika frekvenser. Uppgiften kan nu vara att svara på vad som händer på utgången från "boxen" med en ny signal. Med hjälp av överföringsfunktionen kan man bestämma utsignalen för denna nya signal.



Figur 3.5 Illustration av överföringsfunktion

I energisammanhang tänker vi oss att värmeanläggningen med förbrukare är den svarta boxen. Vi mäter då uttemperaturen och säger att det är insignalen. Som utsignal väljer vi t ex effektåtgången för att hålla konstant innetemperatur. Vi skapar oss alltså en överföringsfunktion över systemet för en viss insignal. Vi kan nu med en annan utetemperatur beräkna effektåtgången för detta system.

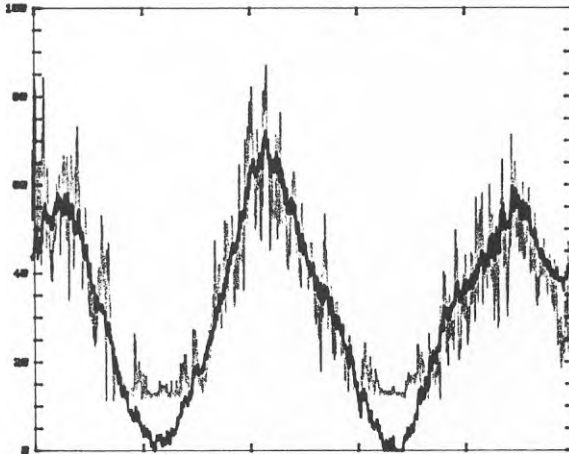
Användningsområdet för överföringsfunktionen inom energisammanhang borde vara stora. Man kan göra mätningar under kortare perioder och skapa beräkningsunderlag för hela år eller längre perioder. För dimensioner i samband med ombyggnader vore detta möjligen ett bra verktyg. Speciellt då vid dimensionering av t ex värmelager.

Vid användning av överföringsfunktion är det ett krav att systemet uppför sig linjärt för att finesserna skall kunna utnyttjas. Som tidigare diskuterats är det testade systemet linjärt under höst, vinter och vår men ej under sommarmånaderna. I princip är systemet linjärt under all tid som effekt tas ur anläggningen. Så fort anläggningen ej ger värmeeffekt upphör linjäriteten. Detta visar sig i princip inte vara något problem då en effektkurva skapad med överföringsfunktion ger negativ effektåtgång för höga utetemperaturen, vilket ej är rimligt. Det går därför att bortse från dessa perioder.

Tänkbart arbetssätt med överföringsfunktion är att värmesystemet uppmäts under t ex 12 veckor med utetemperatur som insignal och effektåtgång som utsignal vid konstant innetemperatur. Därefter hämtar man från SMHI eller liknande utetemperaturer från tidigare år samt prognoser för framtiden för aktuell plats i landet. Ur detta material har man möjlighet att skapa effektåtgång för en motsvarande mängd år.

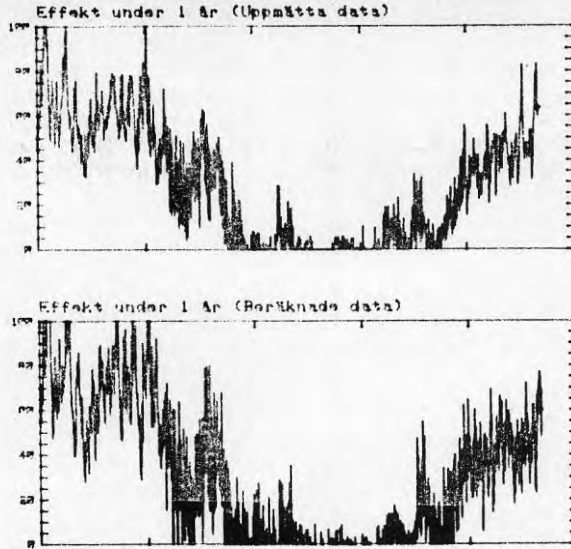
Metoden att med hjälp av överföringsfunktionen skapa effektåtgången kan göras med två metoder. I metod 1 utgår man ifrån t ex 12 veckors överföringsfunktion och expanderar denna till aktuell period 1-3 år. I denna manöver erhålls automatiskt en filtrering som vi ännu inte hunnit studera effekten av. Expanderar man ända upp till 2-3 år medför detta att man främst är intresserad av säsongslager och möjligtvis är denna filtrering ej av betydelse. Metod 2 stegar med aktuell mätperiod t ex 12 veckor igenom ett år. Denna metod ger ingen extra filtrering men det kvarstår en del utredningar rent signalanalytiskt för att erhålla rätt absolut nivå på resultatet. Manuellt är det möjligt att skapa t ex en treårsperiod med utgångspunkt från 12 veckors mätdata.

Effekt under 3 år

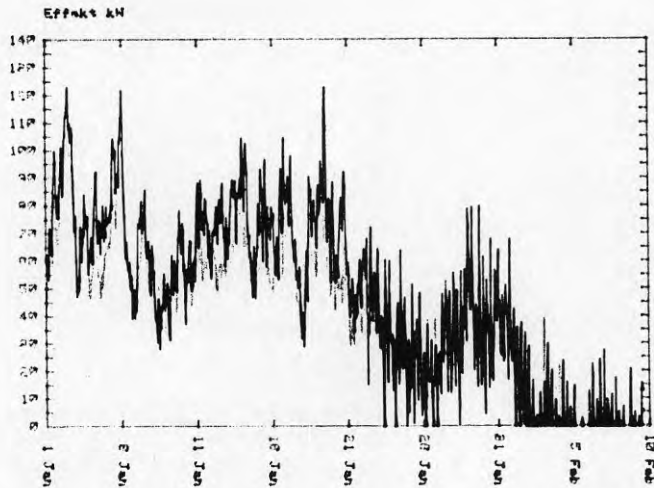


Figur 3.6

3 års beräknad effektförbrukning jämfört med aktuell effektförbrukning (facit) skapat med metod 1 Expanding av tidsfönster



Figur 3.7 1 års beräknad effektförbrukning jämfört med aktuell effektförbrukning (facit) skapad med metod 2 Stegning i 12-veckorsperioder



Figur 3.8 6 veckors beräknad effektförbrukning jämfört med uppmätt effektförbrukning. Underlaget för beräkning var uppmätt ett år tidigare

3.5 Beräkning av lager, storlek - effekt

Hittills har resultatet av projektet beskrivits i delar. Syftet med projektet är att skapa underlag för dimensionering av ett värmelager. Diskussioner har förts med energitekniker för att ta reda på vad man vill ha för underlag. Vissa uppgifter såsom effekt är viktiga. Vad gäller temperaturer i nätet så är åsikterna mer delade. Detta beror väldigt mycket på vilken typ av lager som väljs samt hur regleringen skall gå till.

Då förmodligen olika uppgifter kommer att krävas från fall till fall har vi valt en tabell som innehåller vad vi anser nödvändigt.

Vid beräkningarna används medeleffektåtgången per timme samt fram- och returledningstemperaturer. Dessa är också medeltemperaturer per timme. Effektfunktionen är den signal som har filtrerats med ett filter som skall simulera lagret. Uppgifter som beräknats är uppdelade i tre block.

10 Apr 1986 13:13:56
FJÄRRVÄRME NÄT

EFFEKT DATA FIL : TSENEFJ VIA029
FRAMLEDNINGSTEMPERATUR FIL : TSTFRFJS VIA029
RETURLEDNINGSTEMPERATUR FIL : TSTREFJS VIA029
FREKVENNS FÖR FILTER 3 dB-GRÄNS = 80.00
STEGNING AV RECORDS = 5.00

	Maxlast				Lagereffekt				Lagervolymer						
	Pm	Pd	Tf	Tr	Pm	Pd	Tf	Tr	Q	Tfr	Tfr	Tr	max	m3	m3
	kW	kW	°C	°C	kW	kW	°C	°C	kWh	°C	°C	°C	fsrs	fsfm	
1 Jan 1981	153	8	108	44	126	34	111	41	87	115	105	47	8	1	
25 Feb 1981	134	11	110	46	120	20	112	40	63	115	105	48	5	1	
24 Mar 1981	97	4	113	40	78	39	98	39	43	114	81	49	1	1	
20 Apr 1981	92	7	99	37	82	29	99	36	48	111	80	54	1	1	
16 May 1981	53	20	84	36	53	20	84	36	26	107	69	55	1	2	
12 Jun 1981	58	9	78	35	35	18	79	50	36	90	67				
9 Jul 1981	39	17	70	47	39	18	70	47							
4 Aug 1981	52	13	88	30											
31 Aug 1981															

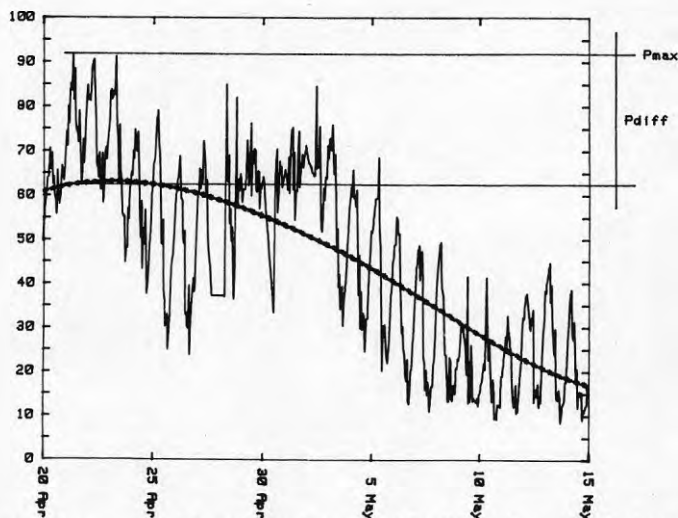
Figur 3.9 Exempel på tabellutskrift

Block 1 innehåller information om den produktions-effekt (peak) som kan sparas in med lagret. Tabellen innehåller den topplast som förekommit under någon timme under perioden. Till denna topplast beräknas en effektdifferens som motsvarar den topplastsänkning som skulle erhållas för samma timme om det funnits ett lager i värmesystemet. För "topplasttimmen" redovisas också fram- och returledningstemperatur.

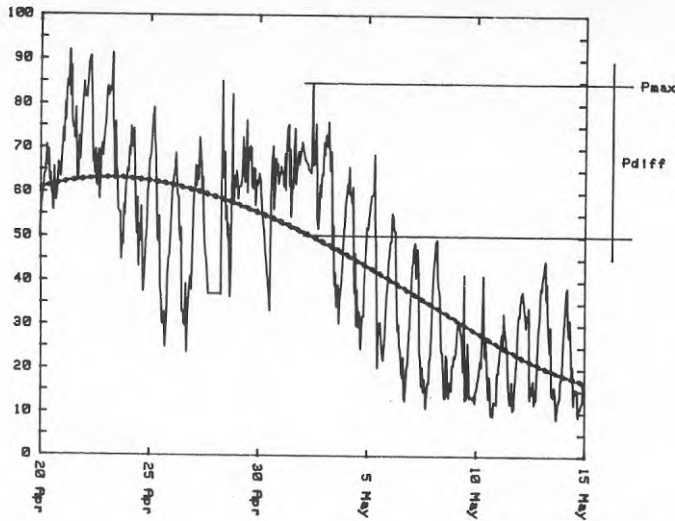
Block 2 ger information om den effekt som måste kunna produceras av lagret. Denna information kan t ex användas som underlag för bestämning av storlek på värmväxlare. Redovisning sker av den maximala differens som erhållits mellan normal effektåtgång och effektåtgång med lager. Dessutom redovisas den aktuella effektåtgången när differensen är maximal under perioden. Vid maximal differens redovisas också fram- respektive returledningstemperatur.

Slutligen beräknas ett antal volymer inom block 3. Den första volymen som beräknas uttrycks i kWh. Det beräknas enligt följande. Först bestäms skillnaden mellan normal effektåtgång och effektåtgång med lager. Denna skillnad blir positiv när lagret utnyttjas och negativ när lagret laddas. Skillnaden summeras sedan under en tidsperiod och får då sorten kWh. Denna summa växer när lagret utnyttjas och avtar vid laddning. Under beräkningsperioden bestäms sedan skillnaden mellan max- respektive miniminivå i lagret, dvs den energimängd som lagret måste kunna rymma för att ge de effektvinster som beskrivs i block 1 ovan.

Som komplement till ovanstående energivolymer redovisas den maximala fram- respektive returledningstemperatur samt minsta framledningstemperatur under perioden. Vi har valt att redovisa lagrets storlek i m^3 vatten för att få en mer gripbar volymstorlek. Volymen m^3 -fsrs för vatten har beräknats med hjälp av energivolymer Q i kWh och skillnaden mellan maximal framledningstemperatur₃ och maximal returledningstemperatur. Vattenvolymer m^3 -fsfm har beräknats med energivolymer som ovan samt skillnaden mellan maximal och minimal framledningstemperatur.

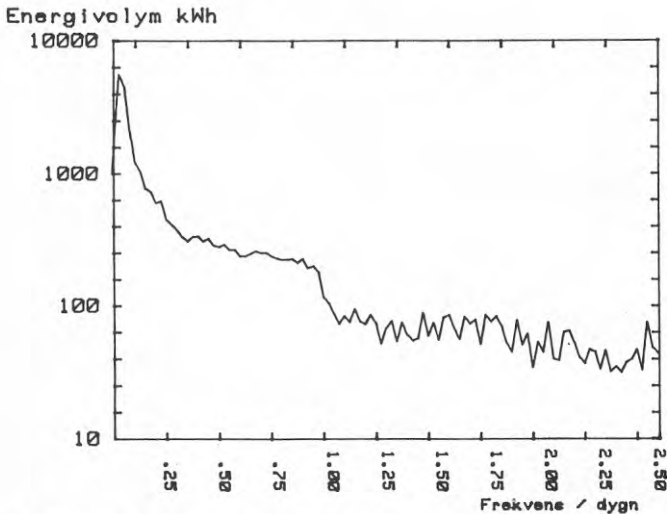


Figur 3.10 Illustration av beräknade storheterna P_{max} och P_{diff} i block 1



Figur 3.11 Illustration av beräknade storheterna P_{max} och P_{diff} i block 2

Resultatet i beräkningstabellerna som beskrivs gäller för en viss analyserad period och en viss skärfrekvens. För att kunna göra en bedömning av underlaget måste ovanstående tabellinnehåll beräknas för olika skärfrekvenser. Genom att beräkna energivoly Q i kWh (beskrivs i block 3 ovan) för olika frekvenser kan underlag beräknas för ett diagram med lagervoly Q i kWh som funktion av frekvens.



Figur 3.12 Lagervoly som funktion av skärfrekvens för lagret

Detta diagram är det grundläggande resultatet av analysen. Vi har bedömt att nästa steg i dimensioneringen bör göras manuellt. Anledningen är att en algoritm som skall kunna bedöma detta steg i processen skulle bli alltför komplicerad för att innehålla alla tänkbara strategier.

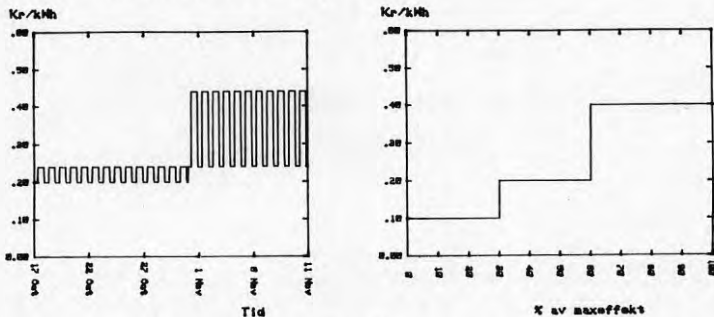
I diagramexemplet ovan framgår att volym varierar i trappstegsplatåer med frekvensen. Avtagande frekvens innebär att lagret klarar att ackumulera under längre perioder. Ett optimalt lager bör väljas genom att storleken bestäms av en platahöjd. Genom att följa platan neråt i frekvens tills volymerna ökar markant får man en uppfattning om vilken periodtid lagret har. En motsvarande funktion kan beräknas för t ex minskat effektbehov i produktionsanläggningen vid olika skärfrekvens.

3.6 Kostnader

Analyserna har hittills endast handlat om fysiska storlekar som har beräknats i form av effektb sparing och volymer. Intressanta uppgifter är också kostnader. Idag förekommer olika energipriser för dag och natt samt även för sommar- och vinterhalvår. Det förekommer även kostnader som är direkt knutna till effekten. Kostnaderna per kWh beror i detta fall på hur stor effekt som förbrukas.

I beräkningsmodellen för energivolymer går det att istället för kWh räkna om värdet till kr/h beroende på tid på dygnet respektive årstid osv. Dessa kr/h summeras sedan periodvis. Summan över ett år innebär då sparade kr med den analyserade lagerstorleken.

Har man istället en effektberoende kostnad räknas kWh om till kr/h beroende på uttagen effekt för aktuell timme. Även här erhålls kr/h periodvis som sedan kan summeras årsvis för att erhålla insparade kronor för aktuellt lager.



Figur 3.13 Exempel på energiprisvariationer som funktion av tid och effekt

Ovanstående sätt att beräkna uppnådda kostnadsvinster är endast exempel på att det är möjligt att lägga in en mängd olika kostnadsfunktioner. Det mesta beräkningsarbetet görs i signalanalysator och styrs av datorn. Även andra typer av kostnadsfunktioner är enkla att lägga in.

Vid dimensioneringsförfarandet är det lämpligt att göra kostnadsanalys för frekvens som ligger på undre respektive över delen av en plåtå i diagrammet med energivolym som funktion av frekvens. Som resultat erhålls den maximala respektive minimala vinst som kan uppnås av ett lager som ligger på en plåtå.

Hittills har kostnaderna endast hänförs till besparingar som beror på aktuell kostnad för energin vid laddning respektive uttag ur lagret. I block 1 av beräkningsunderlaget ovan bestämdes även hur mycket topplasten minskar när lagret används. Kostnadsvinsten i detta fall beror till största delen på besparing i anläggningskostnader.

Beräkningarna ovan berör vilka kostnader som sparas med hjälp av lagret. För att göra kostnadsanalysen fullständig måste även lagret och dess eventuella värmeväxlare kostnadsberäknas. I block 2 finns underlag för dimensionering av värmeväxlare. Block 3 ger underlag för lagrets volym samt olika dimensionerande temperaturer. Här beräknas sedan årskostnaden för lagret som kan jämföras med de besparingar som beräknats tidigare.

3.7 Exempel

För att åskådliggöra metoden har följande exempel genomräknats med mätdata från fjärrvärmekretsen i tidigare beskrivna Märsta-projekt. Effekt, framledningstemperatur och returledningstemperatur som timmedelvärden under 3 år har utnyttjats.

Analysen är uppdelad i steg som beskrivs under punkt 4.2 "Rutin för analys av uppmätt tidserie". Steg A-D finns i detta exempel redan utfört under metodutvecklingen. Nästa steg i analysrutinen är E där lagerstorleken beräknas som funktion av skärfrekvens. Av figur 3.14 framgår två plåtåer där lagerstorleken är mindre beroende av skärfrekvens. Mellan frekvensen 0,4/dygn och strax under 1/dygn handlar det om energivolymer omkring 250 kWh och i nästa område över 1/dygn till 2/dygn är volymen strax under 100 kWh.

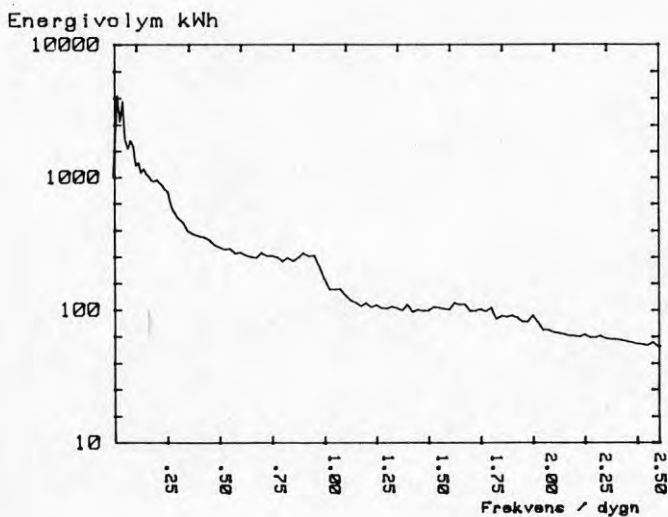
Den topplastbesparing som strategi ett (250 kWh) ger upphov till är 19 kW och strategi två (100 kWh) sparar 16 kW. Framledningstemperaturen vid topplast är vid båda tillfällena 111°C och returledningstemperaturen 43°C. För båda strategierna krävs att lagret skall kunna lämna 40 kW momentant.

Utnyttjas volymen i kWh samt maximal fram- respektive returledningstemperatur motsvarar energivolymer, ett vattenmagasin på 15 m³ för strategi ett och 8 m³ för strategi två. Jämförs volymen med maximal respektive minimal framledningstemperatur motsvarar energivolymer cirka 2-4 m³ i båda fallen.

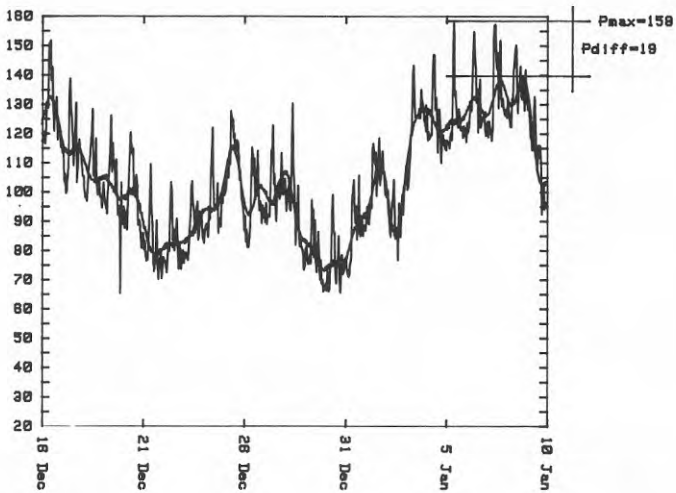
Kostnadskonsekvenserna för lagerstrategierna framgår av nedanstående tabell.

	Strategi			
	1		2	
Energikostnad som funktion av tid på dygn och årstid (se Tidstariff Figur 4.1)	570	kr/år	360	kr/år
Energikostnad som funktion av uttagen effekt	2800	kr/år	1600	kr/år

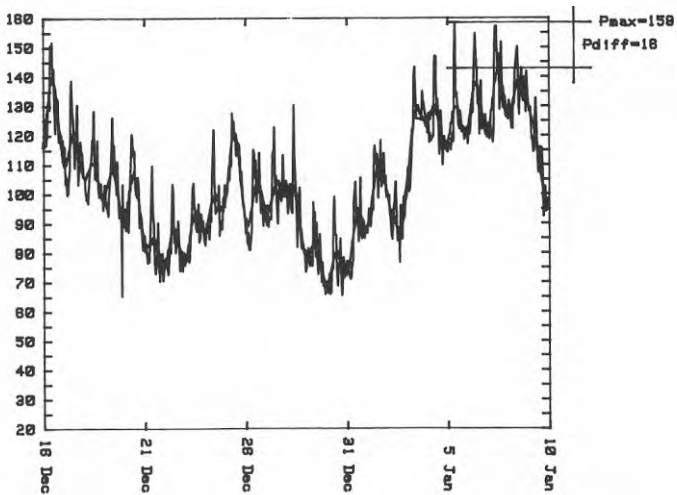
Till ovanstående driftkostnadskonsekvenser skall besparad topplast och kapitalkostnader för byggandet av lager m m läggas.



Figur 3.14 Lagerstorlek som funktion av skärfrekvens för genomräknat exempel.



Figur 3.15 Illustration av topplastbesparing med lagerstrategi ett



Figur 3.16 Illustration av topplastbesparing med lagerstrategi två

FJARRVÄRMENÄT

EFFEKT DATA FIL : TSENEFJ VIA029
 FRAMLÄDNINGSTEMPERATUR FIL : TSTFRFJS VIA029
 RETURLEDNINGSTEMPERATUR FIL : TSTREFJS VIA029
 FREKVENNS FÖR FILTER 3 dB-GRÄNS = 35.00

	Maxlast				Lagereffekt				Lagervolymer					
	Pm	Pd	Tf	Tr	Pm	Pd	Tf	Tr	Q	Tfr		Tre	m3	m3
										max	min			
	kW	kW	°C	°C	kW	kW	°C	°C	kWh	°C	°C	°C		
1 Jan 1981	153	16	106	43	<u>136</u>	<u>39</u>	106	38	192	115	105	47	17	2
25 Feb 1981	134	16	109	42	<u>110</u>	<u>32</u>	112	37	141	115	105	48	12	2
24 Mar 1981	97	13	113	40	78	35	98	39	164	114	81	49	4	2
20 Apr 1981	92	11	99	38	85	38	100	38	157	111	80	54	4	2
16 May 1981	53	27	75	39	53	34	81	39	103	107	69	55	2	2
12 Jun 1981	58	20	75	35	41	25	74	37	98	90	67	57	4	3
9 Jul 1981	39	22	83	41	39	23	77	45	56	83	70	57	4	2
4 Aug 1981	52	21	85	40	52	22	88	39	71	91	70	59	3	2
31 Aug 1981	66	23	87	37	63	30	87	38	133	91	80	56	11	3
27 Sep 1981	96	22	95	40	96	30	103	35	110	104	82	54	4	2
23 Oct 1981	112	27	105	39	112	32	107	39	125	116	88	43	4	1
19 Nov 1981	147	19	105	45	92	33	100	39	121	116	87	46	4	2
16 Dec 1981	<u>158</u>	<u>19</u>	<u>115</u>	<u>48</u>	<u>158</u>	<u>35</u>	<u>111</u>	<u>43</u>	<u>109</u>	<u>121</u>	<u>103</u>	<u>48</u>	<u>4</u>	<u>2</u>
11 Jan 1982	142	23	114	44	116	33	110	39						
7 Feb 1982	125	26	111	41	115	32	100							
6 Mar 1982	99	15	107	37										

Figur 3.17 Resultattabell för beräkning av strategi ett-alternativet. Topplastbesparing respektive krav på lagereffekt under perioden har markerats i tabellen

FREKVENNS FÖR FILTER 3 dB-GRÄNS = 40.00

	Maxlast				Lagereffekt				Lagervolymer					
	Pm	Pd	Tf	Tr	Pm	Pd	Tf	Tr	Q	Tfr		Tre	m3	m3
										max	min			
	kW	kW	°C	°C	kW	kW	°C	°C	kWh	°C	°C	°C		
1 Jan 1981	153	14	108	44	136	36	106	38	142	115	105	47	12	2
25 Feb 1981	134	16	112	46	110	29	112	37	118	115	105	48	10	2
24 Mar 1981	97	7	113	40	<u>78</u>	<u>41</u>	98	39	85	114	81	49	2	1
20 Apr 1981	92	10	100	40	85	31	100	38	81	111	80	54	2	1
16 May 1981	53	22	91	43	53	30	84	36	58	107	69	55	1	1
12 Jun 1981	58	15	81	34	53	21	73	41	67	90	67	57	2	2
9 Jul 1981	39	19	83	41	39	21	77	45	39	83	70	57	3	1
4 Aug 1981	52	18	88	38	52	19	86	41	53	91	70	59	2	1
31 Aug 1981	66	17	87	37	63	23	87	38	77	91	80	56	6	2
27 Sep 1981	96	15	95	39	96	23	103	35	78	104	82	54	3	1
23 Oct 1981	112	22	102	39	97	31	97	38	109	116	88	43	3	1
19 Nov 1981	147	15	110	45	92	28	100	39	82	116	87	46	2	1
16 Dec 1981	<u>158</u>	<u>16</u>	<u>115</u>	<u>47</u>	<u>158</u>	<u>29</u>	<u>111</u>	<u>43</u>	<u>81</u>	<u>121</u>	<u>103</u>	<u>48</u>	<u>4</u>	<u>1</u>
11 Jan 1982	142	19	113	44	116	29	110	39	91	117	104	47	6	1

Figur 3.18 Resultattabell för beräkning av strategi två-alternativet. Topplastbesparing respektive krav på lagereffekt under perioden har markerats i tabellen

4 SLUTSATSER

Det genomförda projektet har främst syftat till att påvisa möjligheten att utnyttja signalanalys som ett hjälpmedel vid dimensionering av värmelager i befintliga uppvärmningssystem. Syftet har också varit att påvisa praktiska tillämpningar där den föreslagna metodiken skulle kunna få en ingenjörsmässig användning. En generell slutsats är att båda dessa syften är uppfyllda över förväntan. Vissa rutiner är redan användbara idag medan andra kräver ytterligare utvecklingsarbete.

4.1 Praktiska tillämpningar

Metodiken har utvecklats utifrån tillgängliga mätdata i ett uppvärmningssystem. Resultaten visar att värmelager kan simuleras och storlek m m beräknas för såväl korttidslager som säsongslager. Den potentiella användbarheten måste därför bedömas som mycket stor eftersom metodiken inte ställer några begränsande krav på uppvärmningssystemets storlek. Både enskilda småhus, flerfamiljshus, gruppcentraler, små och stora fjärrvärmesystem kan beräknas. Något som hittills studerats i mycket begränsad omfattning är analys med hänsyn till lagrets placering men detta förefaller vara möjligt med mer avancerade signalanalytiska metoder såsom modalanalys.

Kostnaden för mätningar och analys är en begränsande faktor som gör metoden olämplig för speciellt enskilda småhus som inte kan bära erforderliga undersökningar. Här bör emellertid metoden vara ett utmärkt hjälpmedel för typhusstudier och generella potentialbedömningar i ett mer överordnat utredningsarbete. För gruppcentraler och fjärrvärmesystem är den marginella analyskostnaden obetydlig, speciellt som användbara mätdata, registrerade för andra ändamål, börjar finnas tillgängliga i många system.

I det kommande statliga forskningsprogrammet läggs stor vikt vid utjämning av effekttoppar i elkraftsystemet. Behovet av tekniska insatser på detta område kan redan nu utläsas av den differentierade taxesättning som införts. I t ex Stockholm erbjuds en s k "tidstariff" med olika energiavgift natt/dag - sommar/vinter och därtill en särskild effektagift.

Tidstariff		Normal och dubbeltariff	
Fast avgift kr/år	300	Eltaxa	Abonnemangsavgift
Effektavgift kr/kWh och år	240 *)	Normaltariff	126 kr/år lägenhet
Energilavgift öre/kWh		34.2 öre/kWh	186 kr/år villa
Vinter (nov-mar)		Långtidstariff	207 kr/år lägenhet
Höglasstid	44	32.4 öre/kWh	279 kr/år villa
Låglasstid	42	Dubbeltariff	
Sommar (apr-okt)		36.0 öre/kWh	270 kr/år
Höglasstid	24	på dagen	
Låglasstid	20	23.4 öre/kWh på	
Höglasstid=mån-fre 07.00-21.00			
Låglasstid=övrig tid			
*) Vid leverans som i huvudsak används för uppvärmning av småhus eller enstaka bostadslägenheter är effektavgiften 111 kr/kWh/år.			

Figur 4.1 Nya taxor för elektricitet från 1 januari 1986 i Stockholm

Metodikerna har hittills inte testats på elektriska energisystem men eftersom analysen avser en effektvariation bör den vara direkt applicerbar även på dessa system. En utvärdering bör t o m vara betydligt enklare eftersom man inte behöver ta hänsyn till reglerfunktioner av temperatur och flöde.

En verifikation av metodikernas användbarhet på elektriska system vore därför mycket önskvärd. Det skulle t ex kunna vara möjligt att beräkna inverkan av husvärmning, värmepumpar och värmelagring i eluppvärmda system, ändrade brukarvanor i bebyggelse och ändrade processrutiner inom industrin liksom direkt nyttan av att lagra elektrisk energi i t ex svänghjul (korttid) och pumpkraftverk (dygn/säsong) samt inte minst lagring i samband med mottryckproduktion.

Ett annat område med varierande flöden och effektbehov är industriella processer där lagring av olika slag har en stor potential. Det kan gälla kyla där det finns exempel på att lagring av is ersatt kompressorer för kylning av mjölk. Det kan gälla utjämning av material- och vätskeflöden och därvid, beroende på tidsstegen, tangera frågor som idag behandlas inom sk materialadministration. Tillämpningsområdena är i det närmaste obegränsade - signalanalytiska metoder kan användas så snart den sökta variationen går att registrera som en kontinuerlig tidserie.

Inom VA (vatten och avlopp) bör metodiken ha stor tillämpning för bl a beräkning av utjämningsmagasin (dagvatten) och modifieringar i befintliga VA-nät alltifrån dimensionering av vattentorn till doserings-

utrustning. Även inom VA-området skulle det vara värdefullt med ett antal testfall för att verifiera metodens tillämpbarhet. (Andra områden inom VA där signalanalytiska och akustiska metoder tillämpas med framgång är läcksökning och undersökning av rörkorrosion.)

Användning av signalanalytiska metoder erbjuder en mängd olika analysmöjligheter utöver här studerad inverkan av lager. Således kan tidsserier studeras till storlek och fas, sorteras som t ex varaktighetsdiagram eller beräknas med vedertagna statistiska metoder. Den enda förutsättningen är att mätdata finns i tillräcklig omfattning och uppfyller vissa minimikrav på kvalitet och representativitet. För information om mätteknik och krav på mätdata hänvisas dels till avsnitt om mätdata i kapitel 3 ovan och dels till Appendix "Mätteknik".

4.2 Rutin för analys av uppmätt tidsserie

Egentligen är det för tidigt att slutgiltigt definiera några generella rutiner eftersom dessa först bör testas på ett antal praktiska fallstudier. Med ledning av de resultat som presenteras i kapitel 2 och 3 ovan är det emellertid möjligt att ge följande förslag till rutin för utvärdering av dimensionerande krav på lager i befintliga system.

Rutin för analys av uppmätt tidserie

- .A Formulering av problemställning
- .B Mätprogram
- .C Dataöverföring
- .D Effektfunktion
- .E Lagerstorlek
- .F Samråd
- .G Lagervolym och effekt
- .H Kostnadskonsekvenser av energitaxor
- .I Vinst
- .J Kostnad
- .K Lönsamhet
- .L Val av lager

Rutin för extrapolation

- . Rutin A-C (ovan)
- .M Mätdata
- .N Effektfunktion
- .O Överföringsfunktion
- .P Dimensionerande belastning
- .Q Dimensionerande effektfunktion
- . Rutin E-L (ovan)

Figur 4.2 Steg i föreslagen analysrutin

A Formulering av problemställning

Problemställningen måste definieras och strategifrågorna diskuteras. Vad är det egentligen man är ute efter - placering av lager, korttids-/säsongslagring, reglertekniska frågor etc. Det finns alltför många exempel på att man utfört omfattande mätningar och gjort omfattande analyser utan att exakt ha klart för sig vad man var ute efter.

B Mätprogram

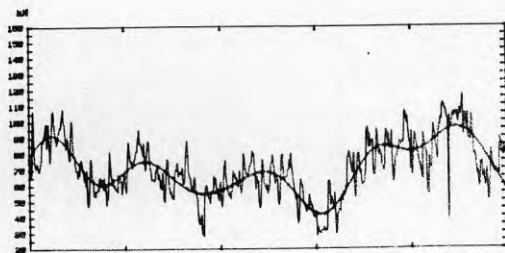
Mätprogrammet måste omfatta val av mätpunkter, tidsintervall och hur länge mätningarna ska göras. Noggrannhetskrav på olika mätstorheter måste bestämmas som underlag för val av givare. Programmet ska också inkludera rutiner för mätdatainsamling, datareduktion och registrering samt media för överföring till signalanalysatorn.

C Dataöverföring

Data som registrerats i fält överförs till signalanalysatorn, oftast via magnetband eller datalagrare. I samband med överföring görs en genomgång av data inklusive bortrensning av uppenbara fel, sortering, erforderlig datareduktion och eventuell anpassning till signalanalysatorns specifika krav. En dylik genomgång utförs rutinemässigt vid all dataöverföring i VIAKs laboratorium.

D Effektfunktion

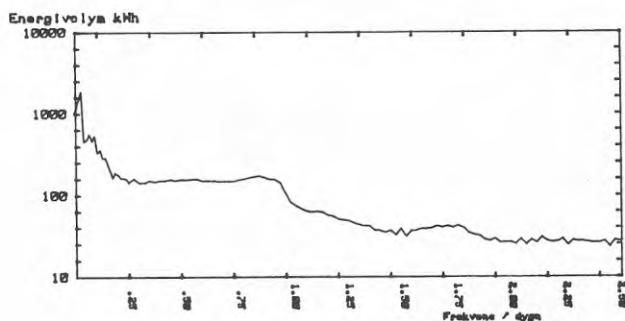
Beräkning av effektförbrukning med ledning av uppmätta temperaturer och flöden är första steget i de analyser som hittills utförts. Beräkning av lagerstorlek har utförts på effektfunktionen, varvid ingående storheter som fram- och returledningstemperatur utnyttjats som referenser till framräknade värden.



Figur 4.3 Uppmätt effektfunktion med simulerat lager

E Lagerstorlek

Beräkning av lagerstorlek som funktion av skärfrekvens. I en iterativ process beräknas i ett första steg lagerstorleken vid ett "klippfilter" enligt de resultat som visas i kapitel 3. I därpå följande steg studeras inverkan av olika filter som väljs utifrån antaganden om lagrets storlek, typ och effekttröghet.



Figur 4.4 Lagerstorlek som funktion av skärfrekvens

F Samråd

Med ledning av den redovisning som rutinemässigt erhålls ur "E" och den valda strategin enligt "A" diskuteras storleken av de lager som ytterligare ska undersökas. I diskussionen bör både energitekniker och signalanalytiker medverka.

G Lagervolymer och effekt

Beräkning av lagervolymer (kWh, m³), lagereffekt och minskat effektbehov i produktionssystemet för de skärfrekvenser man valt att studera.

	Maxlast				Lagereffekt				Lagervolymer					
	Pm	Pd	Tf	Tr	Pm	Pd	Tf	Tr	Q	Tfr	Tfr	Tre	m ³	m ³
	kW	kW	°C	°C	kW	kW	°C	°C	kWh	°C	°C	°C	fsrs	fsfm
1 Jan 1981	153	21	108	44	136	52	106	38	229	115	105	47	20	3
25 Feb 1981	134	32	110	46	110	37	112	37	263	115	105	48	22	3
24 Mar 1981	97	18	113	40	78	36	98	39	242	114	81	49	6	3
20 Apr 1981	92	16	99	37	85	33	100	38	219	111	80	54	6	3
16 May 1981	53	31	84	36	53	31	84	36	124	107	69	55	3	2
12 Jun 1981	58	23	80	34	55	25	73	41	147	90	67	57	5	4
9 Jul 1981	39	24	77	50	39	25	77	50	75	83	70	57	5	2
4 Aug 1981	52	26	86	41	52	26	86	41	152	91	70	59	6	4

Figur 4.5 Exempel på resultattabell

H Kostnadskonsekvenser av energitaxor

Beräkning av kostnadskonsekvenser - vinst/förlust - vid passiv användning av lager enligt G. Det finns möjlighet att lägga in såväl energiprisvariationer som funktion av såväl effekt som tid.

Observera att resultat enligt kapitel 3 visar att i vissa fall kan ett passivt värmelager få ogynnsam effekt vid tidsberoende energipriser genom att dyr energi lagras för att ersätta billig. Detta måste givetvis förhindras genom lämplig reglering, varvid helt nya krav kan komma att ställas på lagrets prestanda. Detaljerade beräkningar med simulering av olika reglerstrategier kan göras i analysatorn.

I Vinst

"Vinsten" utgörs dels av en sparad och prissatt effekt i produktionssystemet, dels en ackumulerad skillnad mellan värdet av inlagrad och uttagen energi i lagret - detta sista vid varierande priser, varvid observeras att skillnaden kan vara negativ (förlust).

J Kostnad

Kostnaderna utgörs dels av kostnad för lagret (volym), dels av kostnader för värmeväxlare och annan utrustning. Ur tabell (figur 4.5) erhålls uppgifter som ger underlag för beräkningen tillsammans med empiriska värden på lagerkostnader (Kr/m^3) för olika lagertyper.

K Lönsamhet

Beräkning av lönsamhet med ledning av uppgifter från "I" och "J" enligt pay-off-metoden eller nuvärdesmetoden beroende på vilket kvalitetsmått som erfordras i detta skede. Metoder för lönsamhetsberäkning av värmelager diskuteras i Byggeforskningsrådets utvärderingsrapport "Värmelager" 1986.

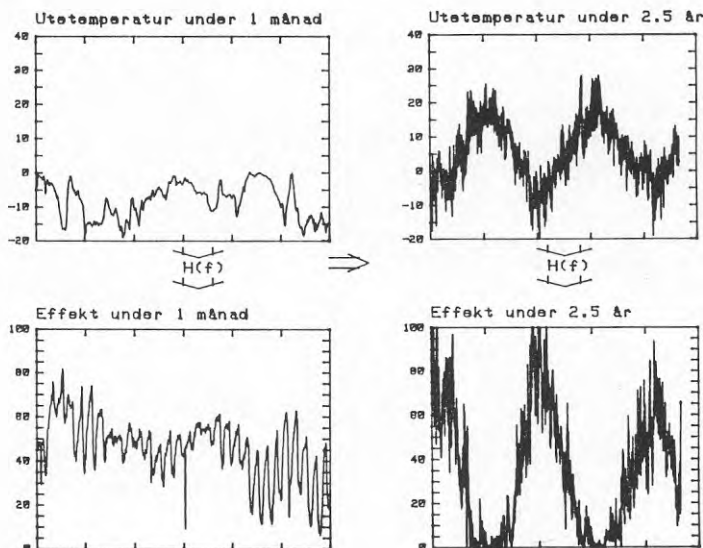
L Val av lager

Med ledning av ovanstående resultat och beräknad lönsamhet väljs vilket lager - storlek och strategi - som ska ligga till grund för fortsatt projektering och mer detaljerade analyser med olika reglerstrategier. Ett viktigt beslut kan därvid naturligtvis vara att inte bygga något lager alls. Man kan också välja en lagerstrategi som t ex enbart styrs av förväntade prisvariationer utan hänsyn till systemens "egna" tekniska egenskaper - något som skulle kunna jämföras med en "teknisk våldtäkt" och som på sikt måste vara oekonomisk sett i ett större sammanhang.

4.3 Rutin för extrapolation

Ovanstående rutin avser analys av en längre mätserie som inom sig rymmer de dimensionerande belastningsfall man vill undersöka. I de flesta fall vill man begränsa omfattningen av mätningar och det är sällan erforderliga mätdata finns för att dokumentera t ex ett uppvärmningssystemens egenskaper vid lägsta dimensionerande utetemperatur. Signalanalytiska metoder erbjuder härvid unika möjligheter att extrapolera resultat från korttidsmätningar till årsmedelvärden med hjälp av representativa temperaturdata, erhållna från exempelvis SMHI.

Principen är enkel och är tidigare redovisad under kapitel 3. Med hjälp av mätresultat från en kortare period dokumenteras systemets "dynamiska" egenskaper genom en s k överföringsfunktion. Under förutsättning av linjäritet används denna överföringsfunktion för att beräkna systemets uppträdande under en längre och dimensionerande tidsperiod.



Figur 4.6 Illustration av principen för extrapolation med hjälp av signalanalytiska metoder

M Mätdata

Registrerade mätdata måste uppfylla samma krav som i den tidigare beskrivna rutinen "A-C" och inkludera en registrering av den pådrivande kraften (t ex utetemperatur) under samma tid (t).

N Effektfunktion

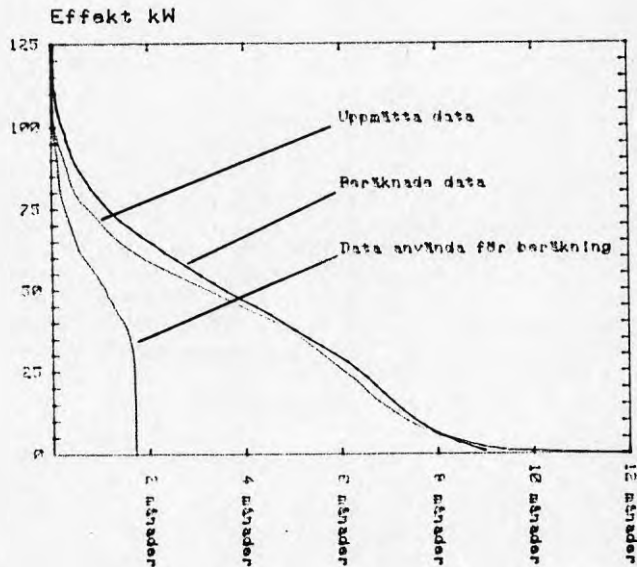
Effektfunktionen beräknas med ledning av uppmätta data under tiden t på samma sätt som "D" ovan.

O Överföringsfunktion

Överföringsfunktionen som dokumenterar systemets dynamiska egenskaper och sambandet mellan utetemperatur och effekt under tiden t beräknas enligt vedertagna signalanalytiska rutiner.

P Dimensionerande belastning

Dimensionerande tidsserie under tiden T över utetemperatur kan erhållas av SMHI för området ifråga. Saknas en dimensionerande tidsserie kan man ta en annan representativ serie från en ort med motsvarande klimattyp och kalibrera denna mot ortens dimensionerande utetemperatur (DUT 1-5 enligt VVS-branschen). Detta förfarande tillämpas rutinmässigt vid bl a dimensionering med hänsyn till jordbävningar, där man av tradition antagit en dimensionerande accelerationskraft. Med moderna metoder utnyttjas ett dimensionerande seismogram, som kalibreras med hänsyn till seismisiteten på orten ifråga och används för att beräkna den dynamiska responsen i den aktuella konstruktionen.



Figur 4.7

Illustration av den presenterade extrapoleringen med hjälp av varaktighetsdiagram

Q Dimensionerande effektfunktion

Med hjälp av överföringsfunktionen från "B" och den dimensionerande belastningen från "C" beräknas effektfunktionen under tiden T. Längden på tiden T måste avgöras utifrån de strategier som dokumenterats i undersökningens början.

På den beräknade effektfunktionen för tiden T genomförs beräkningar av lagerstorlek, vinst, kostnad och lönsamhet i enlighet med tidigare beskrivna rutin "E" - "L".

Resultatet är således den beräknade lönsamheten av ett lager, varvid lagrets funktion simulerats under tillräckligt lång tid för att resultatet ska inkludera samtliga möjliga lastfall inklusive traditionellt dimensionerande effektkrav.

4.4 Fortsatt arbete

Vissa delar av ovanstående rutin är klara för test i representativa praktikfall. Andra delar måste utvecklas ytterligare. Dessutom är det motiverat att genomföra viss grundläggande forskning kring förutsättningar och möjligheter att använda signalanalytiska metoder på klimatdata och energisystem.

Följande delprojekt har identifierats:

- 1 Test av metoden på befintliga uppvärmningssystem för att verifiera tillämpbarheten i några praktiska fallstudier. Verifikationen bör utföras parallellt med "normal" projektering. En verifikation av metodens användbarhet erhålls också genom analys av funktionen hos befintliga lager.
- 2 Test av metoden på befintliga lager av olika storlek och typ för att dokumentera olika lagars "termodynamiska" egenskaper. Det finns mycket som talar för att ett värmelagers effekttröghet representeras av olika filtertyp/-branthet i en elektrisk analogi. I så fall skulle det vara möjligt att lägga upp en "bank" av filter som representerar olika lager och som antyds i den illustrerade iterationsrutinen under "E" ovan.
- 3 Utveckling av extrapolationsförfarandet genom automatisering. Överföringsfunktioner har hittills utnyttjats i delvis manuella rutiner för att åstadkomma en extrapolerad effektfunktion. Ytterligare utvecklingsarbete erfordras för att automatisera denna rutin och verifiera resultat bl a med hänsyn till observerade olinjäriteter.

- 4 Dimensionerande klimatdata förutsätts kunna erhållas från SMHI. Detta måste verifieras och användningen av data dokumenteras. Sambandet mellan dimensionerande tidsserier och "DUT 1-5" bör också studeras. Delprojektet syftar också till att lägga upp en databank med dimensionerande utetemperatur - ettårsserier - för orter med olika klimattyper.

- 5 Andra möjliga tillämpningar har diskuterats ovan. Således vore det värdefullt med test av metodens användbarhet i ett flertal olika praktikfall i skilda miljöer.

- 6 Styr- och reglertekniska strategier har stor inverkan på möjligheterna att ekonomiskt utnyttja energilager. Signalanalytiska metoder erbjuder ett värdefullt hjälpmedel att studera olika samband, vilket med fördel bör göras i anslutning till utvärdering av resultat från ett konkret objekt.

- 7 Elektriska analogimodeller har tidigare utnyttjats för att simulera fysikaliska förlopp. Under senare år har datorsimulering blivit allena rådande trots de uppenbara fördelar en analogimodell har vad gäller överskådlighet och möjlighet att enkelt testa dynamiska förlopp. Med hjälp av signalanalytiska metoder är det möjligt att bestämma egenskaperna hos olika delar av t ex ett fjärrvärmenät - olika bebyggelsestruktur, temperaturkrav, produktionsanläggningar, lager etc som underlag för byggandet av en analog modell av fjärrvärmenätet. (Delprojektet skulle kunna vara ett lämpligt examensarbete.)

Ovanstående delprojekt bör genomföras i anslutning till "normalt" utrednings- och projekteringsarbete för maximalt samråd med energi- och drifttekniker. Olika former för genomförande (i anslutning till andra utvecklingsprojekt) diskuteras med bl a Lunds tekniska högskola (reglerteknik), Umeå universitet (mätteknik), Stockholm Energi (Hässelbyverket), Vattenfall (Energihushållning), SMHI och Byggeforskningsrådet. Vissa delar kan eventuellt också finansieras av VIAK och ingå som komponenter i normal uppdragsverksamhet. Utöver fortsatt utveckling planeras en informativ artikel för publicering i Byggeforskningen, VVS-tidningen och/eller någon El-tidning.

Detaljplanering av de olika delprojekten, budget och resurser för genomförande etc presenteras i annan ordning.

LITTERATUR.

1. D.C. HITTLE, A Comparison of Building Energy use Calculated with Actual and Synthesized Weather Data, U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory, Champaign, Illinois, USA.
2. W. F. PHILLIPS, Harmonic Analysis of Climatic Data, Solar Energy Vol. 32. No. 3, pp. 319-328, 1984.
3. A. C. SALCEDO, Fourier Analysis of Meteorological Data to Obtain a Typical Annual Time Function, Solar Energy Vol. 32, No. 4, pp. 479-488, 1984.
4. S. SILLMAN, Performance and Economics of Annual Storage Solar Heating Systems, Solar Energy Vol. 27, No. 6, pp. 513-528, 1981.
5. J. HALLENBERG, R. KNUTSSON, Kortidslagring av vattenburen värme, BFR-forskningsanslag 820257-6 och 831334-6.
6. D. KARNOPP, Multiple Energy Domain Systems, Shock and vibration computer programs.
7. A. ÖSTERGREN, H. GRANSELL, Ackumulatorer i kraftvärmesystem, Studsvik rapport EI-85/122, 1985.
8. Värmelagers roll i energisystem, Beräkningsmetoder, BFR-seminarium januari 1985, BFR-rapport R68:1985.
9. B. SVEDINGER, Värme i mark och vatten. Analysmetodik vid dimensionering av anläggningar för värmeutvinning och värmelagring, Jord- och Bergmekanik Rapport nr 17 KTH, 1984.

ENERGY STORAGE

by Björn Svedinger

Storage of energy in various forms is a vital part of most energy systems. Results from Swedish and international research programmes indicate that energy storage will be even more important with the introduction of new energy technology.

This paper will present various technologies for energy storage. It will also give some examples from practical experience of applications for developing countries. Finally, I will present some information on current research work in Sweden.

The experiences gained in energy storage for electricity production and storage of oil and gas are well known. That technology has been developed into thermal energy storage for heating and cooling. I will therefore concentrate my presentation on new applications for thermal energy storage.

Purpose of energy storage

Energy storage is required for a lot of purposes such as:

- . basic storage for large energy producers and consumers
- . reserve for strategic reasons
- . leveling out of variations in production and consumption of energy.

Thermal energy storages can be a part of almost any energy system. Some applications are:

- . solar energy
- . waste energy
- . coal, garbage and wood burning
- . electricity production and cogeneration

for industry and dwellings as illustrated in Figure 1. Heat pumps and cooling machines can also be integrated into the system when change of temperature is required

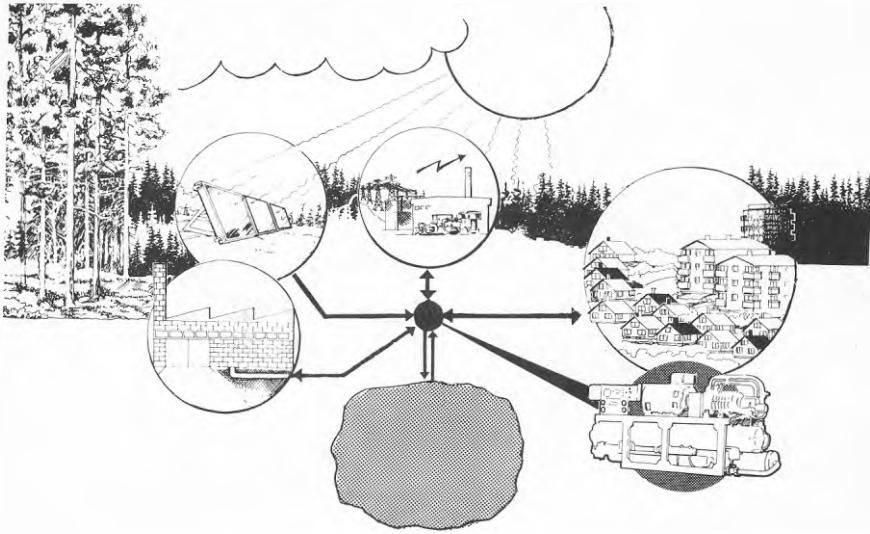


Figure 1 Thermal energy storage

It must be pointed out that the same technology - engineering design and calculation methods - are used for both heating and cooling. From an engineering point of view, it is only a question of temperature and gradients. It is therefore possible to utilize know-how from Sweden also in developing countries, where cooling plays the major role.

The principal applications of energy storage - either short-term or seasonal - in an energy system are as illustrated in Fig 2 and 3:

- . Peak power reduction. The storage is charged when energy is available and used to cover peak demand.
- . Energy conservation. The storage is charged with waste energy, surplus heat, solar energy, etc and used when needed.
- . Cost reduction. The storage is charged with cheap energy (such as electricity during night), and used when energy is expensive.

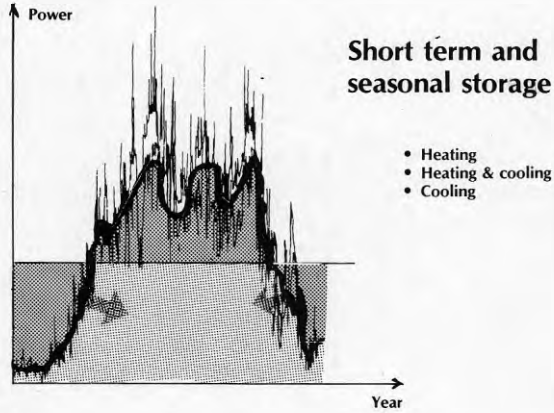


Figure 2 Illustration of power demand in any energy system and the effect of short and long-term storage.

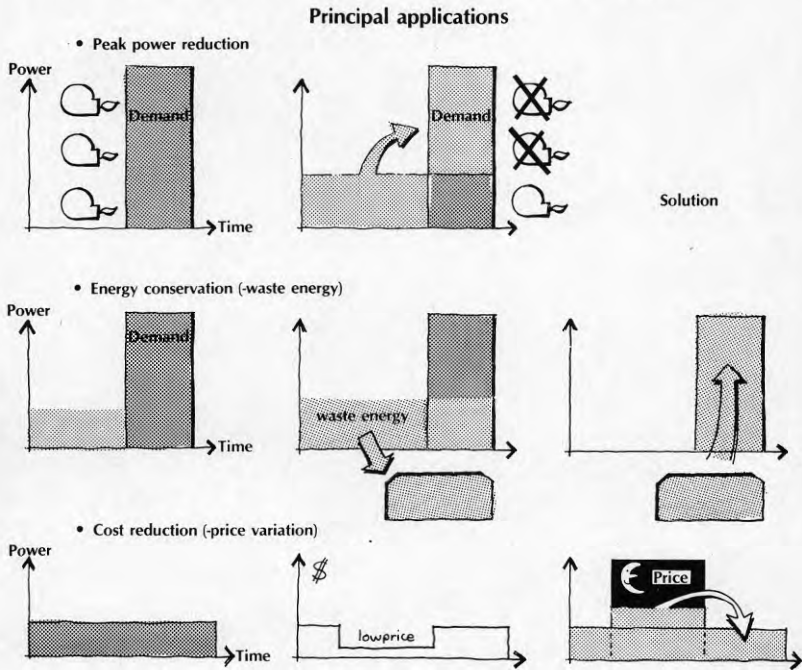


Figure 3 Principal applications of energy storage

Storage media

The oldest of all technology for thermal energy storage is the use of the the building material itself. "Antique Greeks" used heavy material in their construction 2000 years ago and today the know-how of these so-called "passive systems" is well developed. The idea is to use a material with thermal capacity to even out the temperature - day/night - in order to avoid heating and cooling.

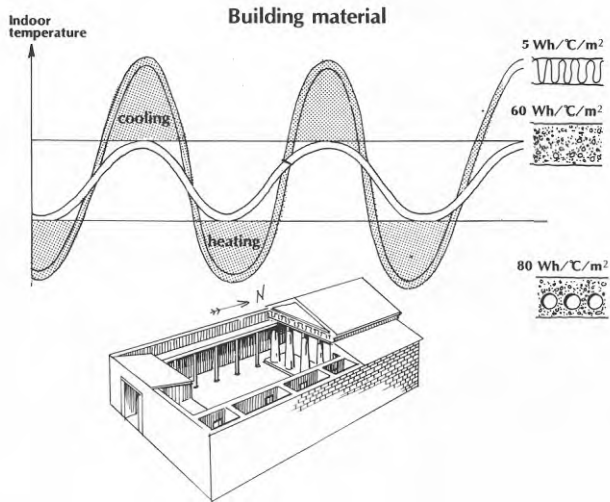


Figure 4 Thermal energy storage in building materials

Chemical storage in salt is interesting as an alternative to water tanks in small-scale applications. The principle is the same as for ice/water which stores a lot of energy at 0°C . Today there are some types of equipment on the international market using $\text{CaCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ (Calcium Chloride Hexahydrate) ($\sim 30^{\circ}\text{C}$) and $\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}$ (Glaubersalt) ($\sim 32^{\circ}\text{C}$). Fullscale research installations in one-family houses and industries are being studied in Sweden.

Steel tanks are widely used for all kinds of storage - oil, cold/hot water, steam, etc - and for almost any application. Insulated pressure tanks are widely used in industrial and heating systems but are very expensive for large-scale storage.

In Sweden unpressurised water tanks up to 40 000 m³ are used in district heating in order to even out short-term variations. Another concept being studied is earth and rock pits. A research project with a 10 000 m³ hot water storage for 50 one-family houses has been in operation since 1980.

Tank

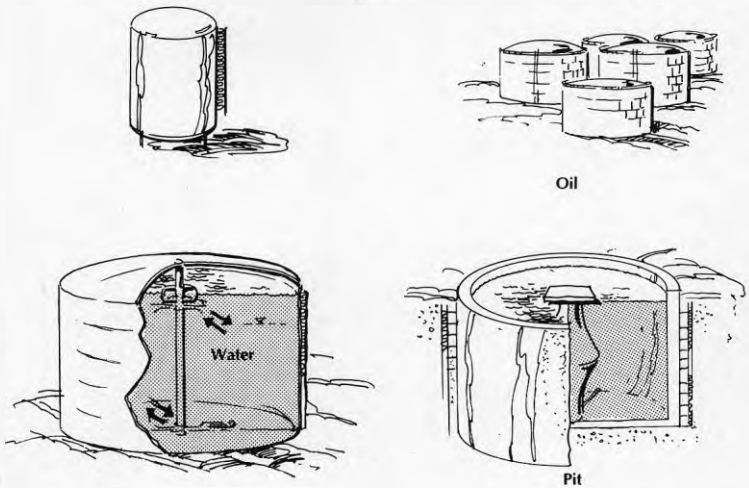


Figure 5 Energy storage in steel tanks

Subsurface energy storage has been thoroughly studied for many years in Sweden. Rock caverns are built for shelter and storage of oil, gas, food and other products all over the world. Apart from energy storage, rock caverns can also be an alternative for storage of drinking water.

Gas and water can be stored in groundwater reservoirs (aquifers). A new technology with vertical tube systems can be used for thermal energy storage. The earth itself can also be used as insulation in underground buildings. The possible applications are endless.

Subsurface location of an energy storage should be considered:

- . where large volumes are needed (investment cost)
- . where good insulation and stable thermal conditions are required. (Savings in energy for heating and cooling - lower maintenance cost)
- . when location within or in connection to urban areas is required (environmental aspects),

but must be based on a careful geological investigation.

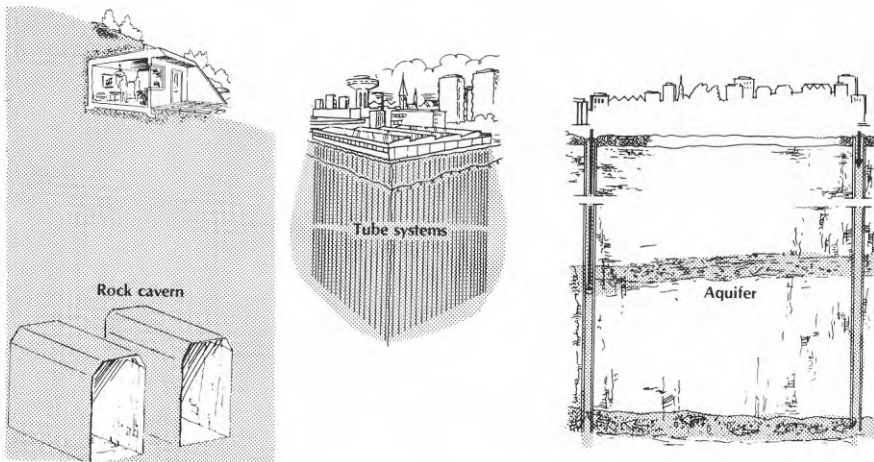


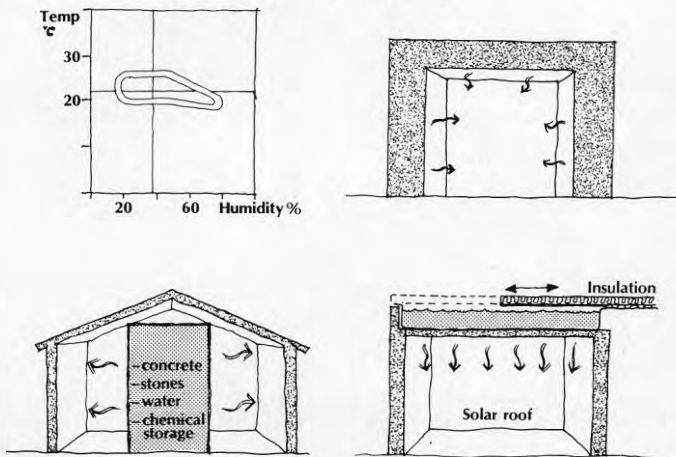
Figure 6 Underground technology

Examples - applications

The demand for comfortable indoor temperatures and humidity will increase with the standard of living. Apart from conventional constructions, a thermal capacity can be separate by means of watertanks or chemical stores. A bed of stones can also be used in an air based ventilation system but experience has not been good due to mould.

New technology can be more or less hard to operate and maintain. "Solar roof" as shown in Figure 7 might be an alternative for arid climates. The market for more advanced "solar houses" in developing countries will probably be limited.

Example: **Building**



Figur 7 Building design

Further development of passive energy systems brings technology even further "back to nature", as illustrated in Figure 8. The underground is used for storage of, for example food. Dwellings in terrace houses, where the surrounding soil is calculated within the energy system, are today very popular in some areas.

Example: "Back to nature"

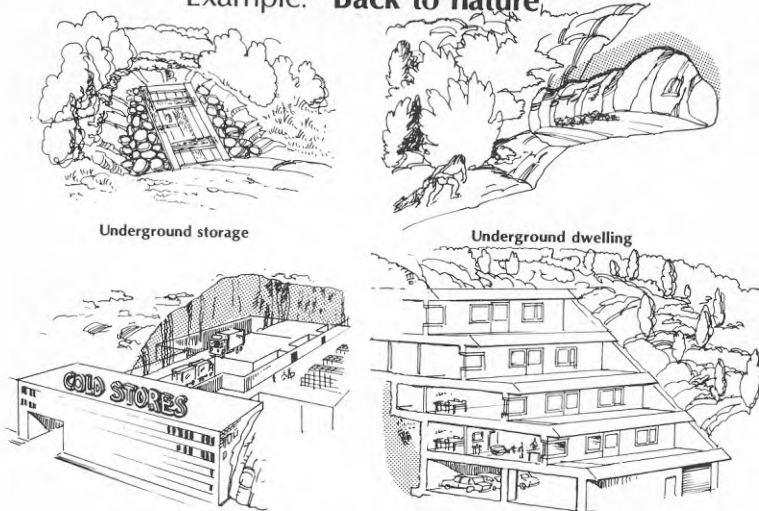


Figure 8 Underground storage and dwellings

The underground can also be used as an active part of the energy system. Heat pump technology has become very popular in Sweden and applications with subsoil and groundwater as heat sources are very common.

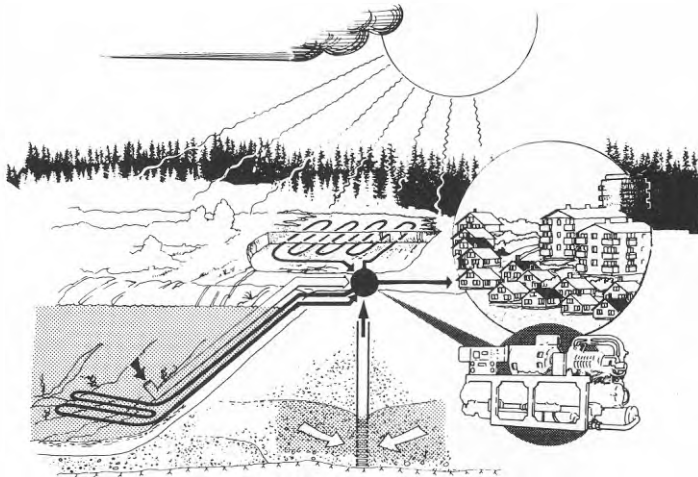


Figure 9 Heat pump applications in Sweden

Experience gained is now being used to design energy systems for both heating and cooling - systems that in some cases work without heat pumps or cooling machines.

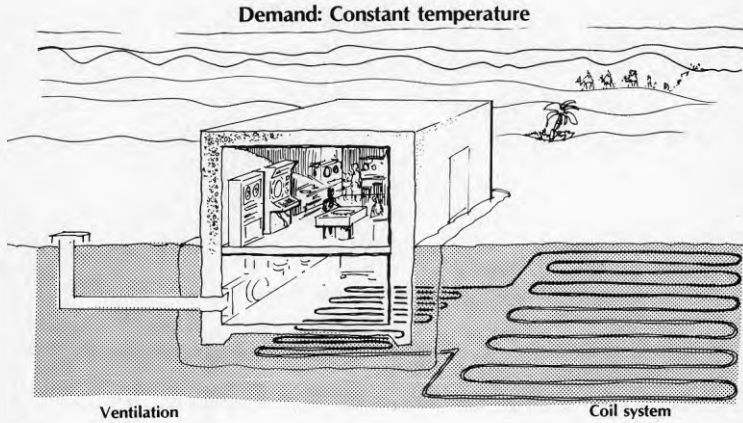


Figure 10 Underground coil system and ventilation

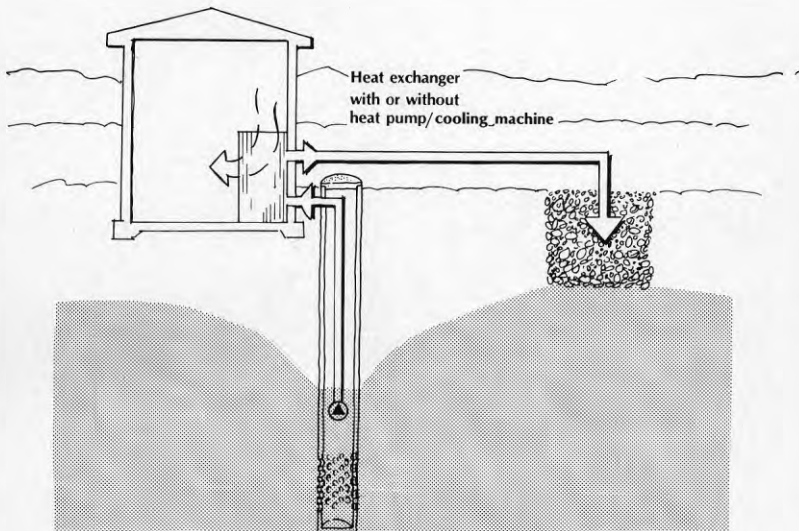


Figure 11 Air conditioning with groundwater

Figure 9-11 illustrates some applications where the underground is used for heating and cooling. The examples shown can be applied in different combinations, depending on local conditions. All of the examples presented have been built and have in each case proven to be economical compared to conventional solutions.

Industrial use of energy storage will have a large potential. The cost of energy and power can be reduced in an economical way with application of different storages - steam, hot or cold water, ice, etc. In many cases, the storage can be used many times a day, which gives a very short payback period.

The example in Figure 12 shows the application of ice storage in a dairy where cooling is needed only for a very short period of the day. The conventional solution is to use three compressors (cooling machines) to achieve the power necessary. Only one compressor is necessary when using a tank with water/ice. The saving in equipment and cost of power gives a payback period of less than one-half year.

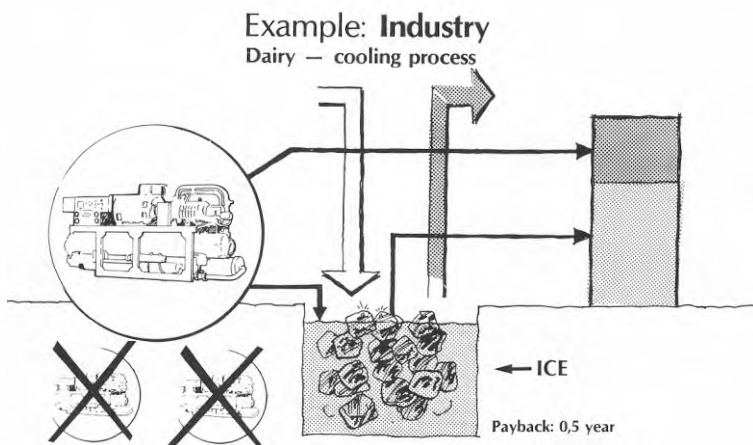


Figure 12 Storage of ice in a dairy

As mentioned earlier, for large-scale applications the subsurface can offer the most economic storage media. Rock caverns are well-known alternative to steel tanks for storage of large quantities of oil and gas. For many years, storages of up to 2 million m³ have been in operation in Sweden and many other countries.

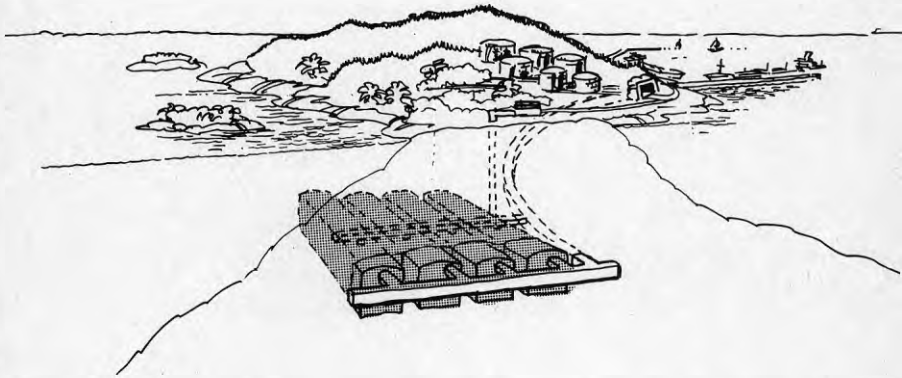


Figure 13 Underground storage of oil and gas

For electricity production, peak power demand can be achieved by means of mechanical storage of water - pump storage - or compressed air with well-known technology. In a pump storage system the turbine is used as a pump during periods with excess electricity and the upper reservoir is charged. In a compressed air system the turbine is used as a compressor and the compressed air will replace water in the storage.

Cogeneration can use storage for peak power production - either hot water for heat demands or steam for electricity demands. As mentioned earlier, steam and hot water can be stored in tanks or below the surface in rock caverns and aquifers. Depending on the depth below the groundwater table the temperature of the water can be well over 100° C.

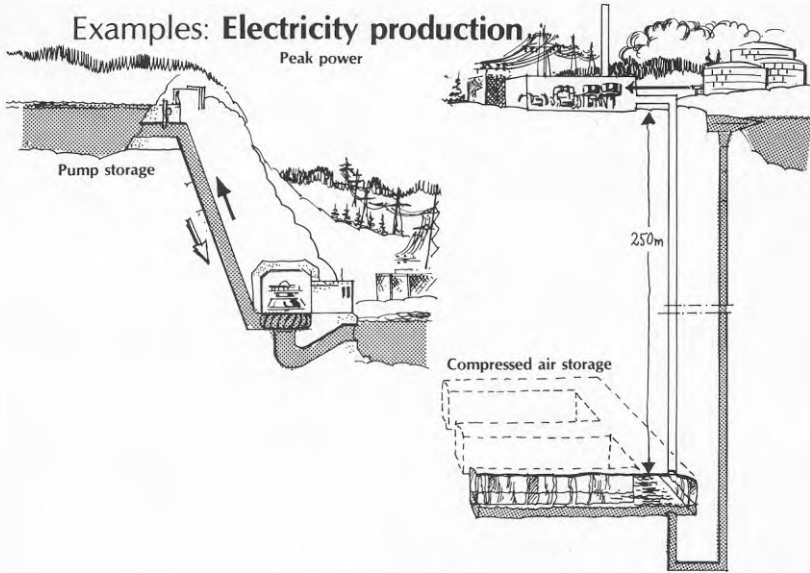


Figure 14 Compressed air and pump storage for peak electricity production

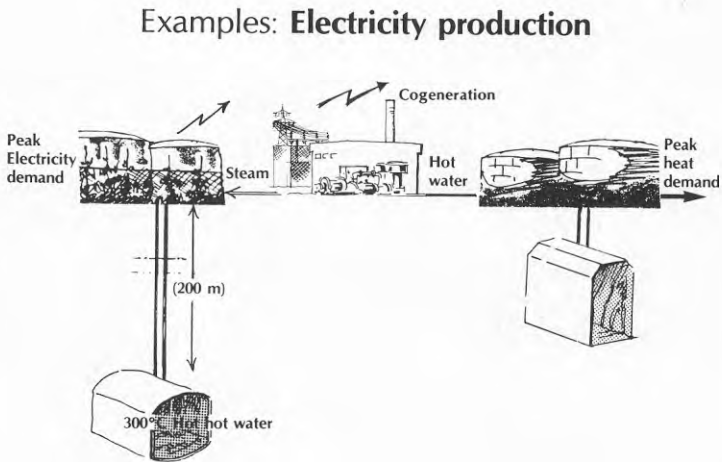


Figure 15 Cogeneration energy storage

R & D in Sweden

Today, underground thermal energy storage for heating and cooling is of prime interest within the Swedish research programme. We now have experience of full-scale projects with all kinds of application for storage in:

- . caverns and pits
- . tube systems
- . aquifers

The technology has a large potential in Sweden and will be commercial within a few years. An international "state of the art" was presented at a conference in Stockholm, June 1983 (Appendix).

Simulation models and energy system analyses are now carried out in a lot of research projects. A future energy system can be rather complex, as shown in Figure 16, but the operation should not be more complicated than electricity production systems with different storages for seasonal and short-term variations.

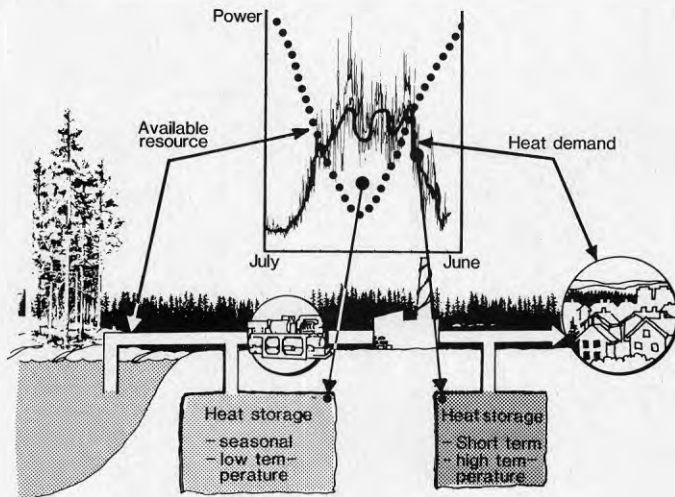


Figure 16 Energy systems with different applications of energy storage

Future energy systems will be designed to fit local conditions and especially geology and natural resources. Methods for investigations and planning have been evaluated and are now applied at the community level all over Sweden.

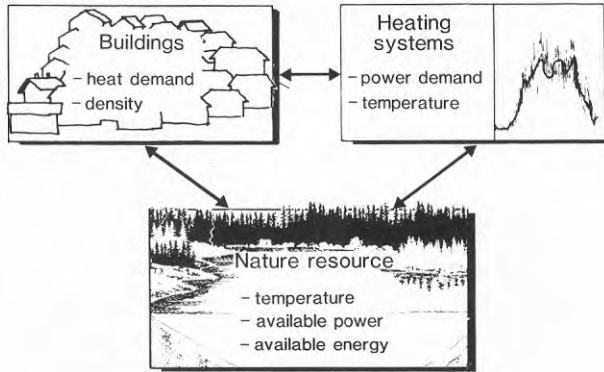


Figure 17 Energy system with local natural resources

A picture of future heating systems in Sweden is shown in Figure 18 where buildings, energy distribution and natural resources work together in an optimal way.

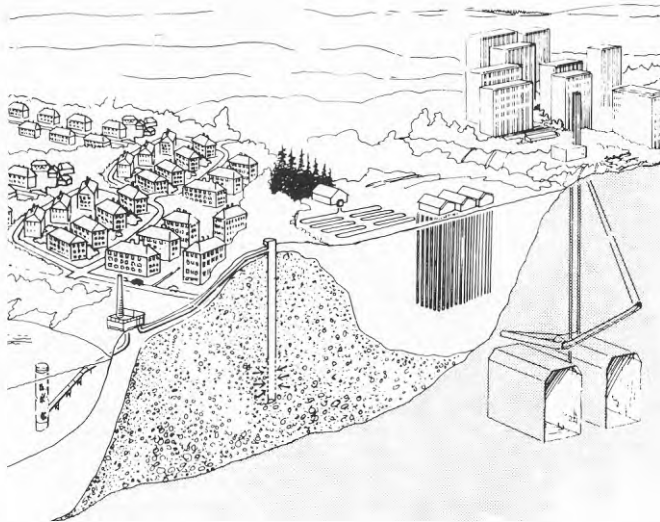
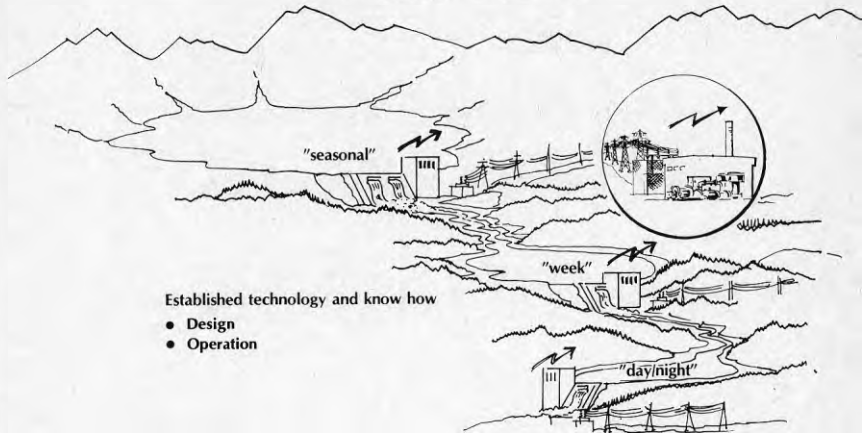


Figure 18 Future energy systems for heating and cooling

Finally, I would like to stress that consulting companies have played a major part within the Swedish research programme since the beginning of 1970. Therefore, we have experience of planning, design and construction work and also maintenance from all kinds of energy-saving and "alternative" energy technology. This know-how is necessary in order to find the right application of energy storage for different energy systems.

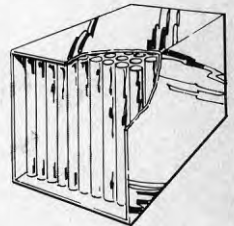
Electricity production



Introduction

- Purpose
- Technology — storage media
- Examples — applications
 - Energy consumption
 - Energy production
- R & D in Sweden

Chemical (-salt)



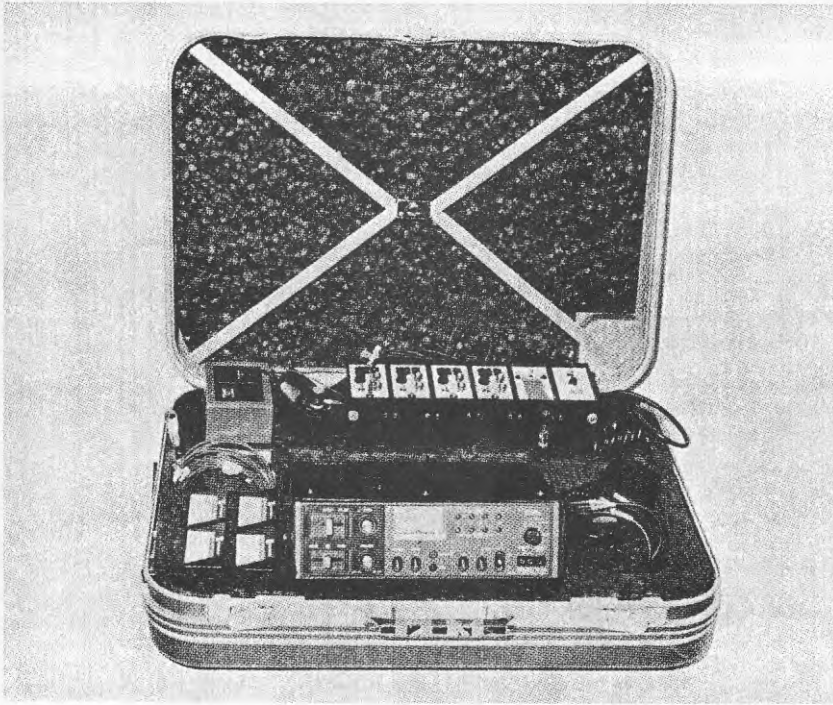
- CaCl_2 $T \sim 30^\circ\text{C}$
- Na_2SO_4 $T \sim 32^\circ\text{C}$
- (• H_2O $T \sim 0^\circ\text{C}$)

- Small scale on market
- Dwelling
 - Industry

Electricity
• hydro
• thermal

Oil
Gas

Thermal Energy
• heating
• cooling



MÄTTEKNIK

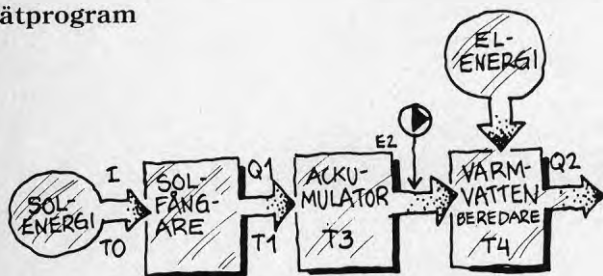
UTDRAG

Planering och val av mätutrustning

Det går att mäta vad som helst, hur ofta och hur länge som helst.

Planering är viktig. Den syftar till att utforma ett program för mätningar och utvärdering så att målsättningen kan uppfyllas på enklaste och billigaste sätt.

Mätprogram



Belekn-ning	Storhet	Intervall, Sort	Nog-grannhet	Dataredukt.
I	Solinstrålning	0-1	kw/m ² 5%	1. Summa / tim 2. Summa / tim under drift
T0	Temperatur utomhus	-30 - 140 °C	10	Requismedelv. samt max/min
Q1	Värmemängd fr. solfångare	0 - 100 °C		
Q2	Värmemängd i tappvarmv.	0-1	m ³ /ku 5%	

Exempel på underlag för utformning av mätsystem.

När förutsättningarna är fastställda utformas ett detaljerat program för mätningar, observationer och utvärdering. Arbetet omfattar i princip en plan för

- mätningarnas genomförande, bl a mätstorheter och krav på noggrannhet, mätfrekvens och villkor för datareduktion
- val av mätutrustning och utformning av erforderligt mätsystem
- mätningar under olika driftfall
- övriga observationer, intervjuer etc
- analysredovisning och utvärdering av resultat
- rapportering.

Utvärderingen innebär en systematisering av data så att en jämförelse kan göras mellan t ex mätresultat, beräkningar, teknisk erfarenhet och gjorda observationer. Det är viktigt att viss utvärdering sker fortlöpande medan det finns möjligheter till kompletteringar.

Direkta mätvärden är således endast ett hjälpmedel för att besvara den uppställda målsättningen. Denna helhet måste beaktas redan från början.

Erfarenheten visar att ett alltför avgränsat mätande lätt blir ett självändamål.

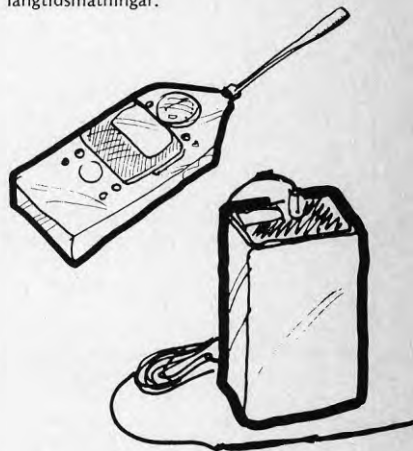
Mätutrustning

Den specifikation av mätstorheter som ingår i utvärderingsprogrammet ligger till grund för val av mätutrustning och utformning av mätsystem.

Variationsmöjligheterna är oändliga beroende på var, vad, när, hur och varför mätningarna ska utföras. Ibland är det tillräckligt med enkla instrument som avläses vid något enstaka tillfälle. I andra fall är det nödvändigt med samtidig registrering av ett stort antal mätpunkter under lång tid.

Enkla mätningar

För vissa enkla mätningar typ buller och luftföroreningar, vibrationer, temperatur etc finns ett stort antal specialinstrument tillgängliga på marknaden. Dessa kan i många fall ge tillräcklig information och är ofta mycket användbara vid förundersökningar när en mer omfattande mätning planeras. I många fall är dessa kombinerade med en enkel datalagrare för långtidsmätningar.



Mätinstrument för buller och temperatur (med datalagrare).



Ett mer avancerat mätsystem omfattar som regel separata givare och utrustning för datainsamling, registrering och analys.

Givare

Givare – typ, fabrikat, känslighet, mätområde etc och givarplacering bestäms med ledning av mätprogrammet, det tekniska utförandet i aktuella mätpunkter samt utformning av det totala mätsystemet. Till mätsystemet överförs antingen kontinuerliga signaler, pulser från räkneverk eller s k on/off-markering.

Registreringen

Registreringsutrustningen inkluderar erforderligt kablage, förstärkare, övervakningsinstrument och utrustning för registrering på papper, band eller annat datormedium. Dessutom ingår eventuella rutiner för datareduktion i syfte att redan i fält begränsa informationsmängden.

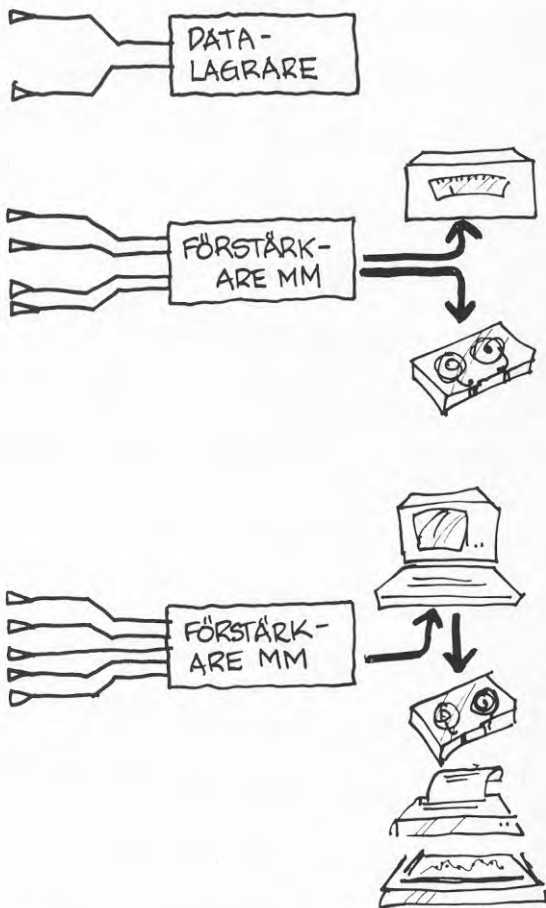
Kontroll

Innan datainsamlingen påbörjas måste ledningsnät och samtliga givare kontrolleras. För att avgöra om givarna är rätt placerade bör också en rimlighetskontroll av uppmätta storheter utföras. Speciella villkor för datainsamlingen måste ingå i mätprogrammet.

Analys

Mätdata kan analyseras och redovisas direkt i fält om mätsystemet innehåller en dator. Som regel överförs emellertid informationen via band eller motsvarande till kontoret för analys och redovisning. Ett flertal program för analys, beräkningar och redovisning av mätdata finns för de flesta persondatorer. För vissa ändamål såsom akustik och vibrationsteknik finns speciella analytatorer som tillsammans med datorer kan byggas ut till mycket avancerade signalanalyslaboratorier.

Här visas några exempel på systemlösningar för datainsamling.



Att genomföra en lyckad mätning

Innan man mäter finns det några saker man bör tänka igenom noga. Det viktigaste är att man har en klar och väl-formulerad målsättning.

Varför skall jag mäta?

En mätningens syfte kan vara att man vill lokalisera ett fel. Mättekniken utnyttjas då för att utesluta eller verifiera möjliga fel. Ett annat syfte kan vara att kontrollera en produkt, en funktions prestanda eller avgöra om det man mäter håller sig inom en bestämd norm.

Ytterligare ett syfte kan vara att man vill skaffa sig en matematiskt formulerad översikt. Man vill skapa sig en modell där man kan variera olika storheter för att se hur de inverkar på en viss funktion.

När skall jag mäta och hur länge?



Det man vill mäta är alltid en fysikalisk storhet. Det finns storheter som alltid har samma värde och storheter som varierar med tiden. Vikten av en bestämd maskin är en storhet som är konstant medan en temperatur varierar. En varierande storhet har ett tidsförlopp. Om man intresserar sig för storhetens värde under ett tidsförlopp behöver man en mätutrustning som dels kan registrera under hela den intressanta tiden dels klarar att följa med i storhetens variation.

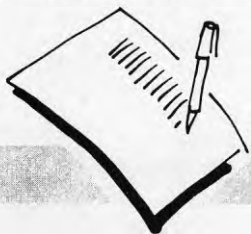


Vad skall jag mäta?

Ofta intresserar man sig för en storhet som är svår att mäta direkt. Ett energiflöde kan t ex mätas som temperatur och volymflöde i en hetvattenledning. I vissa fall kan man acceptera en viss onoggrannhet som gör att man kan förenkla mätförbandet. T ex kan temperaturen utanpå ett rör vara ett tillräckligt bra mått på temperaturen i vattnet inne i röret. Efter mätning kan den uppmätta storheten räknas om till den man var intresserad av genom kända fysikaliska samband.

Hur skall jag registrera mina mätsignaler?

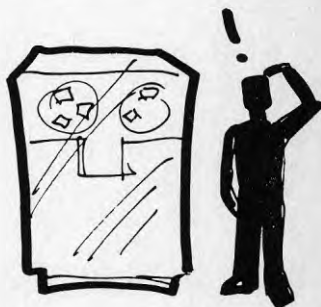
Givarens signal kan läsas av direkt på ett visarinstrument eller ritas upp med hjälp av en skrivare. Signalerna kan också spelas in eller lagras direkt i en mät dator. Det finns flera sorters bandspelare från vilka man kan spela upp signalerna för olika analyser och beräkningar. Är man inte intresserad av signalens snabba variationer kan man i stället använda en förprogrammerad datalagrare. När datalagrarens minne är fullt överförs mätvärdena till en dator för presentation eller analys.



Vilka givare kan jag använda?

Den del i en mätutrustning som omvandlar mätstorheten till en elektrisk signal kallas för givare. Givaren är konstruerad så att den ger en elektrisk signal som på något sätt är proportionell mot den storhet man vill mäta. Det finns givare för olika fysikaliska storheter, alla med sina speciella egenskaper, nackdelar och fördelar. Appli-cerbarhet, känslighet, noggrannhet och mätområde avgör val av givare.

Behöver jag använda en dator i min mätning?



Många mätningar kan genomföras med önskat resultat utan att man använder en dator. Ofta har man dock god användning av en dator trots att man skulle klara sig utan den. Med datorn har man full kontroll över samtliga mätvärden och får lätt en god överblick. Samtidigt ger datorn också möjlighet till datareduktion, beräkningar och presentation i olika former. Vid automatiserade mätningar används datorn för styrning och kontroll.

På vilket sätt skall mätningarna presenteras?



För att uppnå önskat resultat av en mätning krävs att dess resultat presenteras på ett ändamålsenligt sätt. Är man t ex intresserad av att grovt jämföra två mätsignaler är ett diagram med båda signalerna inritade att föredra framför tabeller. Vid en detaljjämförelse är tabeller bättre. Sättet att presentera mätningen är lika viktig som själva mätningen. Ett stort antal generella program för mätdatahantering finns för många datorfabrikat.

Vad är signalanalys?

Ofta önskar man mer information ur en mätning än bara statistiska mått på max- och medelvärden. Signalanalys är ett övergripande begrepp för de olika metoder som utvecklats — huvudsakligen inom akustik — för att förtydliga informationen i en uppmätt tidserie.

En vanlig analysmetod är frekvensanalys där tidsförloppet uttrycks som amplituder vid olika frekvenser. En dygnsvariation återfinns således i frekvensanalysdiagrammet som ett värde för frekvensen "en gång per dygn".

Digital frekvensanalys, s k FFT, är ett mycket kraftfullt verktyg som används i såväl enkla instrument som mer avancerade signalanalyssystem och analyslaboratorier.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 831411-9
från Statens råd för byggnadsforskning till VIAK AB,
Vällingby.**

R90: 1986

ISBN 91-540-4642-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6706090

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 35 kr exkl moms