



Forskning och
Utveckling

FOU 1996:3

BEVAKNING AV INTERNATIONELL FJÄRRVÄRMEOFORSKNING

Sture Andersson, Lunds Tekniska Högskola, Värme & Kraftteknik
Gunnar Nilsson, Göteborg Energi AB



BEVAKNING AV INTERNATIONELL FJÄRRVÄRMEFORSKNING

*Sture Andersson, Lunds Tekniska Högskola, Värme & Kraftteknik
Gunnar Nilsson, Göteborg Energi AB*

Sammanfattning

Inom det här redovisade projektet har genom en internationell utblick - kontakter med de traditionella fjärrvärmeländerna Finland, Danmark och Tyskland - undersökts möjligheterna för att fördjupat och i flera dimensioner utvidgat samarbete inom området fjärrvärmeforskning och -teknikutveckling.

Resultatet är att det undantagslöst finns en vilja att så sker. Det finns en förväntan på vad ett sådant samarbete kan medföra, inte minst med tanke på de nya möjligheter som öppnar sig genom Sveriges och Finlands inträde i EU. Det finns också från nordisk sida en önskan att detta sker på sådant sätt att det tidigare samarbetet inom Nordvärme stärks.

Redan under den tid som projektet har löpt har samarbete etablerats med betydelse för två pågående Värmeforskprojekt samtidigt som förslag till två gemensamma EU-projekt har utarbetats.

I rapporten finns korta sammanfattningar som beskriver forskningsverksamheten i de tre länderna enligt ovan. I bilagor finns ytterligare information.

Summary

In this project, the possibilities for cooperation within the field of District Heating R,D&D between Sweden and the the traditional district heating countries in Europe - Finland, Denmark and Germany - has been investigated and discussed. An outlook on ongoing and recently performed activities as well as discussions with representatives for the national umbrella organisations of those countries has taken place.

The result of the work is, that there is, without exceptions, an interest to investigate the possibilities for deeper cooperation. There is an expectation with respect to the possible outcome of such cooperation , in general, and linked to Finland and Sweden being new members of the European Community The approach from the Nordic side is that all activities should take place in such a way that the already existing cooperation within NORDVÄRME is strengtened.

During the performance of this project, cooperation has already taken place with respect to the preparation of two VALUE - project proposals, addressed to the European Community.

In the report, summaries describing the R,D&D- activities of the three countries are given. More information can be found in the enclosures.

Keywords: district heating R,D&D; cooperation between countries

Innehållsförteckning

1. BAKGRUND	1
2. AKTIVITETER	1
3. REDOVISNING LAND FÖR LAND.....	3
3.1 Finland	3
3.2 Danmark.....	6
3.3 Tyskland.....	9
4. AVSLUTANDE KOMMENTARER	11
REFERENSER, BILAGOR	11

1 Bakgrund

Det finns flera viktiga skäl till att en utblick - en internationell bevakning av vad som sker och vilka intentioner och tankar som finns inför framtiden - äger rum under 1995. De viktigaste skälen är enligt författarnas uppfattning tre:

- Med Finlands och Sveriges inträde i EU samlades vad som oftast betraktas som fjärrvärmens kärnländer i Västeuropa, nämligen förutom de ovan nämnda, Danmark och Tyskland, i en gemenskap vad gäller forsknings- och utvecklingsprogram och med förenklade spelregler vad gäller såväl multinationellt som bilateralt samarbete men också med ökade krav på konformt handlande i vissa frågor för att nå bästa möjliga resultat.
- Den under 1994 påbörjade - och med planerat avslut under 1995 - förändringsprocessen vad gäller finansiering, administrering och övrigt ansvar för forskning och utveckling inom fjärrvärmeområdet som helhet i Sverige har stor betydelse. Såväl högskolornas som övrig forskning, långsiktig och kortsiktig, berörs. Engagemanget i IEA, NMR:s fjärrvärmeprogram och Värmeforsks verksamhet är tre delfrågor som under årets ges nya lösningar. Det är under sådana omständigheter - med så stora nationella förändringar - nödvändigt att också se på omvärlden.
- Det tredje skälet är att den kostnadseffektivitet som alltid bör råda, har fått nya förutsättningar genom de förändringar som beskrivs ovan. För att företaget "Sveriges Fjärrvärme" skall kunna göra rätt avvägningar i valet mellan att ha egen företagskompetens - genom att driva egna projekt, genom att utbilda egna forskare- och att etablera samarbete eller lägga ut projekt, måste omvärldens verksamhet vara känd i större utsträckning än tidigare. Tre saker är uppenbara:

- * Villkoren för att **göra rätt saker rätt** har förändrats
- * Betydelsen av att **ha nätverk** - på alla sätt - har förstärkts .
- * Betydelsen av att **agera tidigt** i händelsekedjan - på idé- och planeringsstadiet- har förstärkts

Därför är internationella utblickar liknande den som nu i all sin blygsamhet ägt rum och här redovisas, nödvändiga som en inledning till ett framtida nytt sätt att arbeta.

2 Aktiviteter

Genom beslut i Värmeforsks hetvattengrupp under hösten 1994 gavs åt författarna uppdraget att genom kontakter med våra närmaste fjärrvärmeländer dels

- 1) Undersöka vilka frågor man arbetar med inom fjärrvärmeområdet- främst hetvattenteknik - och vilka planer man har
- 2) Diskutera förutsättningarna för framtida samarbete vad gäller forskning och teknikutveckling inom fjärrvärmeområdet.
- 3) Tillvarata de möjligheter till samarbete och utbyte inom de pågående arbetsprogrammen som vi fann under arbetets gång.

Kontakter har med ovan angivna ambitioner tagits med Finland, Danmark och Tyskland.

Vad gäller Finland har Tero Mäkelä vid LLY (Finländska Värmeverksföreningen), ansvarig för det löpande finländska forskningsprogrammet TERMO inom fjärrvärmeområdet, dels i enskilda samtal gett värdefull information om den finländska verksamheten, dels tillsammans med Heikki Kotila från TEKES varit inbjuden till och deltagit i ett möte med NUTEK:s Utvecklingsgrupp för Fjärrvärmeforskning hos Byggnadsnämnden. Genom dessa aktiviteter och genom att en av författarna till denna rapport engagerats i en utvärdering av TERMO:s hitillsvarande resultat, har en god inblick i finländsk fjärrvärmeforskning erhållits.

För Danmarks vidkommande har redan tidigare etablerat samarbete inom själva forskningsområdet mellan LTH och såväl DTU som DTI kompletterats med att rapportförfattarna besökt DFF (Danska Fjärrvärmeföreningen) i Kolding och där haft samtal med DFF:s direktör Erling Pedersen och hans närmaste medarbetare.

Tyskland har under de senaste åren signalerat ett stigande intresse för att vi gemensamt undersöker möjligheterna för ett utökat samarbete inom forskning och teknikutveckling för fjärrvärme. För att klarlägga förutsättningarna inbjöds till en början Dr F G Witterhold, ansvarig för AGFW:s forskningsenhet (AGFW = Tyska Fjärrvärmeföreningen) som gäst till den ovan nämnda Utvecklingsgruppens möte under hösten 1994. Vid detta möte lämnade Dr Witterhold en fyllig beskrivning av de tyska aktiviteterna. Utbytet fortsatte med ett återbesök av Utvecklingsgruppen till AGFW i Frankfurt under januari 1995 varvid konkreta förslag till fortsatt samarbete diskuterades tillsammans med representanter från såväl AGFW som myndigheterna (BMFT) och AGFW:s Forskningsråd. Som direkt följd av detta möte har under våren och sommaren 1995 i svenskt/tyskt samarbete formulerats två förslag till EU-projekt inom programmet VALUE (Technology Transfer), till vilka vi återkommer senare. Redan vid mötet i Frankfurt beslöts att möjligheterna till att utvidga Temadagarna i Lund om fjärrvärmeforskning - som ju hittills främst varit en nationell, och i någon mån genom NMR- kopplingen, nordisk angelägenhet - till att öppnas upp mot hela Fjärrvärmeeuropa. Samtidigt har två pågående Värmeforskningsprojekt - "Direkt markförlagda borrar" resp "Återfyllning med befintliga massor" genom kontakter med en forskargrupp, FEMCOS, vid Universitetet i Magdeburg, som redan samarbetar med AGFW, fått sina slutliga lösningar med hjälp av verktyg för FEM-beräkning framtagna av FEMCOS. Vid ett miniseminarium som inom det här redovisade Värmeforskningsprojektet anordnades under våren

1995 vid CTH presenterade Prof Gabbert och Dr Zehn FEMCOS verksamhet för representanter för Värmeforsks hetvattengrupp och dess uppdragstagare vid högskolorna.

3 Redovisning land för land

3.1 Finland

Det finns en mångårig erfarenhet av samarbete inom fjärrvärmeområdet mellan Finland och Sverige, såväl bilateralt som i större grupperingar. Från finländsk sida finns det ett intresse att detta samarbete fördjupas och utvidgas på det sätt som beskrivs idémässigt i inledningen till denn rapport. Konkret har Finland genom LLY förklarat sig villiga att ingå i det planerade och i svenskt/tyskt samarbete förberedda EU-projektet inom VALUE, om detta skulle komma till stånd.

Under åren 1993 - 1998 bedrivs i Finland forskningen inom fjärrvärmeområdet i huvudsak inom programmet TERMO. När TERMO etablerades var den överordnade målsättningen när det gäller innehållet att det skulle ha två tyngdpunkter - **Dagens ekonomi och Hållbar Utveckling**, eller om man så vill

- Att utveckla fjärrvärmverksamhetens effektivitet
- Att utveckla fjärrvärmens konkurrenskraft i framtidens samhälle

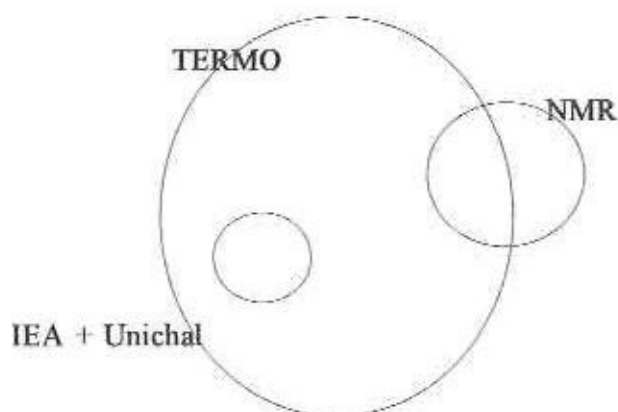
Detta har lett till ett antal nationella projekt med mycket olika karaktär sjösatts. Naturligt, eftersom avståndet mellan dessa två tyngdpunkter kan vara mycket stor.

Som angetts ovan, innehåller TERMO ett antal nationella finländska projekt.

Genom programmet finansieras emellertid även Finlands deltagande i ett antal internationell forsknings- och utvecklingsaktiviteter inom fjärrvärmeområdet.

Dessa aktiviteter är

- Finlands deltagande inom IEA:s fjärrvärmeprogram
- Deltagandet i inom Unichal initierade projekt
- NMR:s (Nordiska ministerrådets) fjärrvärmeprogram
(till del finansierat via TERMO)



Vi skall längre fram återkomma till samtliga dessa aktiviteter och deras karaktärer. När det gäller deltagandet i inom Unichal (numera EuroHeat) initierade projekt vill vi redan här nämna det sameuropeiska projektet för att ersätta freoner inom fjärrvärmedistributionen. Det har här dels gällt att ta fram nya produkter, dels att utveckla provningsmetoder för dessa nya produkter, som säkerställer att erforderlig teknisk livslängd uppnås.

De nationella programmen främgar t ex av TEKES' informationsskrift "Finnish Technology Programmes 1993-1998" , /1/. Här framgår att det finns ialles 11 nationella olika forskningsprogram för i tur och ordning

PROGRAM	INNEHÅLL
Liekki 2	Förbränning och förgasning
Bioenergia	Bioenergi
Nemo 2	Avancerade energisystem och teknologier
FFusion	Fusionsenergi
Sihti 2	Energi och miljö
Mobile	Energi och miljö inom transportsektorn
Sula 2	Energi vid stål- och övrig basmetallproduktion
Sustainable Paper	Energi vid pappers- och boardproduktion
Raket	Energianvändning i byggnader
Edison	Eldistribution(automation
Termo	Fjärrvärme

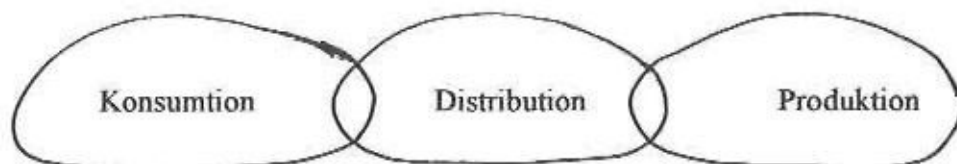
Man ser här att det finns starka kopplingar, men av olika slag, mellan TERMO och flera av de andra programmen. Här kan dels utmärkta möjligheter till samarbete uppstå, men även risker för konflikter vid gränsdragningar.

Gentemot vissa program , t ex RAKET, SIHTI 2, NEMO 2, BIOENERGIA och LIEKKI 2

finns det starkare kopplingar än för övriga.

Således är utvecklingen av byggnadsbeståndet, förnyelsen av detsamma och dess tekniska installationer, av avgörande betydelse för värmebehovet med alla dess parametrar - effekt, totalt energibehov och variationer och temperaturnivåer.

I andra änden av kedjan



finns kopplingar till de program som avser produktion av el och värme - både i energiföretagsregi och i samarbete med industrin - och miljöfrågorna kopplade till denna produktion.

I programtexten för TERMO pekar TEKES bl a på exportmöjligheterna för finländsk fjärrvärmeteknologi. TERMO skall stödja utvecklingen av teknik som ökar fjärrvärmens effektivitet och förbättrar dess ekonomi och dess miljömässiga fördelar.

Den totala planerade budgeten för genomförandet av de beslutade programmen är 1416 MFIM under en femårsperiod. TERMO:s andel är på 20 MFIM, d vs c:a 4 MFIM per år. Den utgör således en liten del av hela programpaketet.

Ansvar för programmet vilar hos LLY

I /2/ finns en mera ingående beskrivning av verksamheten inom TERMO samt ett förslag till fortsatt verksamhet under programperioden. Delar av detta förslag återges nedan, eftersom det har betydelse för vårt här redovisade projekt:

2

Behåll den nuvarande styrmekanismen eftersom den säkrar att enskilda projekt som siktar långt in i framtiden blir genomförda och att för de enskilda projekten det statliga stödet kan variera, vilket är en stor styrka i konstruktionen.

3

Det statliga stödet är viktigt, inte bara ur ren budgetsynpunkt. Härtill kommer andra motiv, fjärrvärmens betydelse för god miljö är ett typiskt exempel på när ett kollektiv (fjärrvärmeverksamheten inklusive kunderna) skapar nytta för ett annat och större kollektiv (allmänheten). I en marknadsekonomi är denna situation inte självstyrande mot att viktiga allmänna behov tillgodoses, varför någon form av statlig insats väl behövs. Och här är väl roten att föredra framför piskan.

5

För över frågan om tillverkardeltagande från nationell till internationell bas, eftersom tillverkarna arbetar "gränslöst" i sin forskning och produktutveckling. Detta innebär arbete inom Nordvärme och inom Europa med dessa frågor på ett mera konkret sätt än för närvarande

6

Satsa ännu mer än tidigare på att skapa och utnyttja nätverk som länkar ihop den nationella forskningen med det som sker i andra länder. Detta är av värde för de nationella projektens kvalitet och blir en bas för samarbete i EU-projekt inom olika program: Thermie, Joule, Value. Det är också ett nödvändigt steg i en process för att tillsammans med andra fjärrvärmeländer få fram ett särskilt fjärrvärmeprogram inom EU.

7

Området kundanläggningar/ kundkommunikation/ intelligenta mätare ser ut att vara mindre bearbetat än vad som motsvarar den framtida betydelsen av hithörande frågor. I TERMO:s fortsättning bör detta beaktas.

En redovisning av finländska forskningsprojekt under perioden 1989 - 1995, innebärande utdrag ur /2/ samt ur en 1993 av Tero Mäkelä publicerad projektredovisning, District Heating Research in Finland, /3/ , lämnas i bilaga F

3.2 Danmark

I Danmark pågår ett nationellt program för fjärrvärmeforskning och -utveckling med i huvudsak samma ambitioner och med finansieringsmodeller Näringsliv/Stat för programmen som helhet liknande den som gäller för det svenska.

I Danmark skedde 1991 en kraftsamling på det sättet att DTU och DTI tillsammans bildade CDTH, Centrum för Fjärrvärmeteknik.

Som framgår av /4/ har de övergripande skälen härför varit att

- Kunna tillhandahålla fjärrvärmekunnande för hela branschen
- Att säkra att en överordnad värdering sker när det gäller insatserna inom matrisen (Produktion; Distribution;Användning/ Planering; Utveckling;Forskning)
- Att stärka dansk forskning och utveckling inom fjärrvärmeområdet.
- Att stärka dansk fjärrvärmes ställning utomlands

Den ovan beskrivna forskningen har drivits i högskolemiljö och i samarbete med vissa energiverk och med danska tillverkare. Tillverkare och större konsultföretag agerar även i de internationella projekten inom t ex IEA . På distributionssidan finns kraftfulla

engagemang från tillverkarsidan när det gäller på europeisk nivå samordnad teknikutveckling, forskningen och standardiseringsarbete, t ex den av Unichal initierade, som gäller ersättning av freoner i fjärrvärmesammanhang. Härtill kommer utvecklingsarbete inom distributionssidan men även när det gäller abonnentcentralerna, omfattande egen utveckling hos vissa tillverkare, ofta i samarbete med forskningsinstitut inom och utanför Danmark.

Som framgår av en presentation av verksamheten juli 1995, /4/ har verksamheten vid Centrum för Fjärrvärmeforskning varit intensiv och på senare år koncentrerats på två områden, nämligen **kundanläggningar** och **planering och drift av fjärrvärmesystem**. Ett intensivt arbete pågår vid främst DTU och IMSOR för utveckling av modeller för optimering av drift av fjärrvärmesystem.

Vid vårt besök hos DFF berättade Erling Pedersen och Kurt Risager att dansk fjärrvärmeforskning befinner sig under en långsiktig förändring mot den svenska modellen. Detta innebär ett ökat intresse från dansk sida att undersöka förutsättningarna för fördjupat och vidgat samarbete. Pedersen underströk att detta måste ske inom ramen för eller med full acceptans från Nordvärmearbetet resp -grupperingen. Från dansk sida föreslogs följande grundbult när det gäller att säkra ett framgångsrikt arbete:

"Låt det hela starta med en konferens om fjärrvärmens framtid. Därigenom kan vi bl a lägga fast behoven av gemensamma undersökningar vad gäller fjärrvärmens framtid och arbetsformerna för detta. Från DFF:s sida föreslås grupper med 5-7 personer från de deltagande länderna. Från dansk sida är DFF och Energistyrelsen de instanser som bör inbjudas.

Dansk fjärrvärmeforskning stöts med 2,5 - 3,0 MDKK per år av statliga forskningspengar (EFP-programmet). Varje år utger Energiministeriets Forskningsudvalgs sekretariat en förteckning över de projekt till vilka stöd beviljas. Här anges också vilken som är projektledare. Ur den senaste tillgängliga, "Oversigt over projekter og rapporter 1980 - 1994", /5/, har uppgifterna i **bilaga G** hämtats. Rapporten avser forskning- och utvecklingsverksamhet inom områdena

- Bränslen och förbränningsteknik
- Fjärrvärme och produktion av el och värme
- Miljö och restprodukter

I bilaga G ges en redovisning av projekt inom området distribution och användning av fjärrvärme under de senaste 10 åren. Projekten har delats upp i sex olika områden A t o m F

A = Distributionssystemspecifika projekt
B = Användningsspecifika projekt

C = Drift av (hela) fjärrvärmesystem
D = Mätning och mätare samt växlare
E = Särskilda frågor
F = Halt vatten

Det har alltid ett intresse att se vad man sysslat med och **när**. Det finns på vissa hånder i Sverige en uppfattning att man i Danmark överlåter alltför stor del av utvecklingsverksamheten till tillverkarna för att kunna påverka skeendena i önskad riktning. Den lämnade redovisningen pekar tvärtom på en betydande verksamhet som administreras genom Forskningsudvalget.

Totalt har man inom de olika områdena genomfört projekt och föreligger rapporter i antal enligt nedan, d v s totalt 96 stycken.

Område	Antal
A	29
B	36
C	11
D	12
E	4
F	4

Genomförda projekt är del av basen för eventuellt framtida samarbete, både vad gäller tyngdpunkten för utförd forskning och som en redovisning av resurserna för att utföra forskning.

I bilaga G ges en sammanställning avseende **de senaste 10 åren med de senaste projekten först i listorna**

För att underlätta för svenska läsare har rubrikerna för projekten översatts från danska till svenska

Här framgår den omfattande utvecklingsverksamheten i Danmark inom fjärrvärmeområdet redan innan Centrum för Fjärrvärmeteknik bildades. Några andra slutsatser som kan dras är

- Varme & Klima vid DTU (tidigare DTH) med Benny Bøhm och hans doktorander har gjort väsentliga insatser när det gäller dansk fjärrvärmeutveckling. När det gäller driftoptimeringsfrågor har ett nära samarbete mellan Varme & Klima och IMSOR ägt rum
- När det gäller undersökningar kring produkten preisolerade rör, där danska tillverkare har en ledande marknadsställning, har Leif Amby spelat en ledande roll.

- För området "Halt vatten" har Bruun & Sørensen profilerat sig. Bland konsultföretagen märks främst Rambøll (tidigare Rambøll, Hannemann & Højlund).

- Under de senaste 10 åren har antalet projekt som sysslar med frågor kring fjärrvärmens användning hos kunden (inklusive måtar- och växlarfrågor) till antalet varit störst (47%) medan de som behandlar distributionssystemets komponent- och materialfrågor kommit på andra plats (30 %). Detta innebär bl a att totalbilden av den danska fjärrvärmeforskningen över perioden blir, att viktiga områden, t ex distributionssystemen och förhållandena kring dessa, har bearbetats intensivt redan innan Centrum för Fjärrvärmeteknik bildades och då bl a av de aktörer som nämns ovan.

3.3 Tyskland

Tyskland har de senaste åren satsat mycket hårt på "Dagens ekonomi" vad gäller distributionen (Neuartige Wärmeverteilung), men även på framtidsfrågor vad gäller miljön (projektet IKARUS) och på utveckling av modeller och verktyg för optimering av fjärrvärmeverksamhet. Miljöfrågorna har stor betydelse (IKARUS m fl). I samarbete mellan AGFW och BMFT (numera BMBF) har hela det värmetekniska området bearbetats.

Tyskland har också genom sin fjärrvärmeförening AGFW varit en drivande kraft när det gäller arbetet för att ersätta freoner (CFC) i fjärrvärmesammanhang

Flera olika ministerier stöder fjärrvärmeforskningen i de projekt som får nationellt stöd - Ministeriet för forskning och teknik, Ekonomiministeriet, Ministeriet för miljöskydd och Bostadsministeriet.

Den tyska fjärrvärmeforskningen har beskrivits som liberal och pluralistisk, /6/ och bilaga C. Enligt uppgift (AGFW) satsas 24 -30 MDM per år, varav c.a 45 % från energiföretagen 10 % från tillverkarna och 45 % är allmänna medel. Utöver den nationellt stödda forskningen finns det en omfattande företagsforskning

I vissa projekt sätts Benchmarks, klart uppsatta mål. T ex är i Neuartige Wärmeverteilung ambitionen att reducera distributionskostnaderna med 25 %.

När det gäller sättet att arbeta kan följande noteras:

- Arbetets inriktning anges övergripande av ett forskningsråd med representanter från bidragsgivande myndigheter, högskola och energibranschen.

- Projekten koordineras och följs upp i alla sina faser - inklusive information om resultat av en forskningsenhet vid AGFW.

- Ansvaret för de enskilda projektens drivande är i stor utsträckning "utlokaliserat" till större energiverksmedlemmar i AGFW, som också svarar för att nödvändiga forskningsinsatser allokeras. Härigenom angageras således forskningsinstitut men även

större konsultföretag i processen.

Jag har uppfattat det som att man i den tyska modellen medvetet har dubbla mål - nämligen att dels göra en riktad insats mot det energiföretag som är värd för projektet, dels att skapa generell kunskap till nytta för hela branschen

När det gäller arbetets inriktning är denna till del präglad av Tysklands återförening och de behov som därvid identifierats. Med tanke på det tyska programmets storlek finns det detta till trots stora gemenskaper mellan vad som bearbetas där och i de nordiska länderna, t ex

- Driftoptimering
- Hinder för spillvärmeutnyttjande
- Ny fjärrvärmedistributionsteknik (med allt vad detta innebär)
- Nya fjärrvärmekoncept
- Nya material för VVX
- Underhåll och förnyelse i forna DDR
- Miljöförbättringar genom reduktion av systemtemperaturerna
- Interaktion fjärrvärmesystem/byggnader

Vid det tidigare redovisade mötet i Frankfurt mellan representanter för svensk och tysk fjärrvärmeverksamhet blev såväl långsiktigt strategiskt samarbete som samarbete i projekt diskuterade. Från tysk sida är man positiv till att undersöka förutsättningarna inom hela fältet.

Konkret har ett antal aktiviteter blivit resultatet

- Planering pågår för "Lundadagar för redovisning av och diskussion kring pågående fjärrvärmeforskning " under första kvartalet -96 i en utvidgad form (t ex språk engelska) som gör dem anpassade till utomnordiskt deltagande.

- Två EU- projektförslag avseende **Kallförläggning av fjärrvärmeledningar resp Driftoptimering av fjärrvärmesystem** /8/ har tagits fram i svensk-tyskt samarbete.

- Från tysk sida har ett förslag lagts att undersöka förutsättningarna för att utvidga Fjärrvärmebiblioteket vid LTH till att få europeisk status - bl a med hänvisning till det centrala läget i ett framtida Europa och våra redan existerande goda kontakter såväl söderut som mot Östeuropa.

- Vid kontakterna med FEMCOS, Magdeburg, har grunden lagts för ett framtida samarbete på forskarnivå inom ett område med mycket intressanta utvecklingsmöjligheter. Beräkningsverktyget COSAR i dess nuvarande version beskrivs i bilaga D.

* * * *

Trots att Tyskland och Danmark länge varit medlemmar i EU är engagemanget vad gäller EU-projekt litet inom fjärrvärmeområdet, författarna känner bara till ett par projekt.

Förväntan från tysk sida är emellertid stor att Finlands och Sveriges inträde skall öppna upp för nya möjligheter. Det är ju nämligen så att projekt för att få EU-stöd numera teoretiskt behöver involvera minst två länder men i praktiken har det utbildats en praxis som gör att samarbetet måste omfatta flera länder än så..

* * * *

4 Avslutande kommentarer

De tagna kontakterna med representanter för fjärrvärmeverksamhet i allmänhet och forskning och utveckling i synnerhet visar att det finns goda förutsättningar för att förverkliga visionerna om att fördjupa och vad gäller genomförandet från idé till färdigt resultat utvidgat samarbete vad gäller fjärrvärmeforskning och teknikutveckling mellan fjärrvärmens kärnländer i Västeuropa.

Nästa steg menar författarna skulle kunna vara att den av DFF föreslagna konferensen arrangeras på svenskt initiativ.

Referenser, bilagor

/1/ Finnish Technology Programmes 1993 - 98. Informationsskrift från TEKES.

Bilaga A

/2/ **Sture Andersson** ; TERMO- Ett program för finländsk fjärrvärmeforskning under åren 1993 - 98. Synpunkter i samband med en utvärderingsprocess sommaren 1995

/3/ **Tero Mäkelä**; District Heating Research in Finland
Ministry of Trade and Industry, Review B:149.1993

/4/ Centre for District Heating Technology, List of reports and R&D Projects, July 1995.
Information från DTI och DTU.

Bilaga B

/5/ Forskningsudvalgets sekretariat, Danmark, Oversigt over projekter og rapporter
1980 - september 1994

/6/ **F G Witterhold** ; Research and Development for the Supply of District Heating in Germany. Föredrag sept 1994

Bilaga C

/7/ COSAR - presentation av ett verktyg för FEM- analys av fjärrvärmeledningar.
Information från FEMCOS, Magdeburg

Bilaga D

/8/ Projektförslag till Annex II av VALUE - Technology Transfer Projects - "Cold Installation of District Heating Networks " och "Introduction of New energy Management Methods for operational Optimization of District Heating systems. Sammanfattningar, se **Bilaga E**

Som bilagor F och G har fogats sammanställningar av forskningsprojekt inom fjärrvärmeområdet under de senaste åren i Finland (**Bilaga F**) och i Danmark (**Bilaga G**)

Bilaga F

Översikt av finländska nationella projekt med kommentarer

Sammanställning av finländska forskningsprojekt under perioden 1990 - 1995.
Sammanställningen är genomförd som utdrag ur /2/ och /3/.

De nationella projekten har till sitt innehåll stor spännvidd. De består dels av väl avgränsade och definierade projekt, där målen ganska precist kunnat formuleras, dels av projekt, där problemet väl kunnat formuleras, men där målet inte varit känt.

Som en gemensam nämnare när det gäller projektens bedrivande finns en ambition att söka fallstudier (case studies) inom projekten och att låta de energiföretag där fallstudierna bedrivs också vara styrande vad gäller projekten.

Det framstår även som klart att det finns en ambition och att man lyckas att utnyttja möjligheterna till samordning mellan olika forskargrupperingar inom företag och högskolor, både vad gäller projekt inom TERMO och vad gäller snittytor mot övriga finländska forskningsprogram, t ex RAKET.

Möjligheterna till att utnyttja redan befintlig kunskap utanför Finland har inte alltid utnyttjats i den grad det varit möjligt, detta skall emellertid inte utan vidare läggas projektansvariga inom TERMO till last, "it takes two to tango".

Det faktum att projektkatalogen innehåller både rent tekniska, blandat teknik/ekonomi orienterade och samhällsforskningsinriktade projekt är värt att uppmärksamma .

Projektkatalogen inom TERMO

1 Fjärrvärmemarknaden år 2040

Kari Sipilä & Lauri Pirvola, Tekn Högskolan Helsingfors

Rapport finns

Detta är ett ambitiöst försök till analys av marknaden och med försök att ta hänsyn till de stora dragen. Tre scenarier beträffande utvecklingen redovisas - de gäller olika nivåer av energianvändning. Vissa viktiga frågor, som man kringgått i den svenska riksutredningen , t ex betydelsen av det drastiska tvärstoppet på byggmarknaden, olika byggnadstypers omsättningshastighet och bristfällig statistik har man tacklat i den finländska studien.

2 Utveckling av tariffer för fjärrvärme

Saari Leena Virola, Arto Nourkivi & Pasi Vesimäki, Ekono Rapport finns

Studiens mål är att finna nya metoder för prissättning som öppnar upp för nya produkter och kundrelationer. 30 företag är involverade och tre case studies genomföres.

Olika sätt att ta betalt för produkten fjärrvärme - med hänsyn tagen till olika produktutvecklingar och gränssytor mot kunden - ställs således mot varandra för olika kundkategorier.

3 Tekniska förutsättningar för mätning och fakturering av fjärrvärme lägenhetsvis

R Kimari, M Tiitinen, Uleåborg Tekn Institut Rapport finns på finska

I projektet redovisas de viktigaste tekniska förutsättningarna för att rättvis mätning skall kunna ske. De tekniska och sociala delarna av ett energisparande diskuteras och man pekar på att man i Finland hittills varit i huvudsak inriktad på den tekniska, passiva delen, och det slås fast att hittillsvarande finländska ansträngningar i huvudsak riktat sig mot de rent tekniska möjligheterna.

Arbetet lyfter fram de svårigheter som faktiskt finns och spaltar upp påverkansmöjligheterna när det gäller sparande av värmeenergi

4 Framgångsfaktorer för energiföretag

Anders Björkell, EKONO Rapport kommer nov -95

I projektet ser man 10 år tillbaka och följer de involverade företagens ekonomiska liv under denna tid. Intressant är blandningen av aktiebolag (7 stycken) och energiverk (6 stycken)

Här beträds enligt projektledaren nya vägar, för att kunna hantera olika typer av verksamheter har nya "mätare", nya nyckeltal på att ett företag mår bra måst tas fram.

5 Bestämning av anslutningseffekten för olika kundkategorier

Lasse Koskelainen m fl, Komartek OY Rapport finns

Det här är ett projekt som tillför ny kunskap som kan användas i flera sammanhang inte bara för att den mjukvara som skulle tas fram inom projektet utan också för annan utveckling, t ex för utveckling av intelligenta mätare och reglerutrustning och för system för demand side management i en framtid med tidsdifferentierade taxor .

6 Framtidens fjärrvärme- tekniska förutsättningar och ekonomisk utveckling

Hakulinen & Nourkivi, Ekono

Rapport kommer våren -96

Studien är bl a kopplad til FVmarknaden år 2040 och har 3 Case points, år 1995, 2005 och 2040. Inriktningen är att skapa en uppfattning om hur antagna förändringar hos konsumtionen - nivåer och profiler samt temp.nivåer påverkar produktion och distribution.

7 Inverkan av framtida minskad värmekonsumtion på förbrukningen av primärenergi

Kari Sipilä & Magnus Wistbacka VTT

Rapport finns

Två fall har studerats, dels hetvattenproduktion i Jalasjärvi i en 5 MW torveldad anläggning, dels i ett gaseldat kraftvärmeblock i Vanda.

8 Okonventionella lågtemperatursystem (TermoNet)

Risto Kosonen/ Julkinen, VTT

Rapport finns

Termonet (HVAC) är ett samarbete VTT (Bygg + Energi) + ABB. Det engagerar således både TERMO och RAKET-programmen.

Detta att en industrirepresentant finns med har inneburit att viss information ej har varit öppen. Detta har gett extra erfarenhet när det gäller att driva utvecklingsarbete under sådana förhållanden

TermoNet har värde när det gäller att utveckla fjärrvärmen som produkt.

9 Standardisering av reparationer och förnyelse av fjärrvärmeledningar

Lauri Pirvola , Tekn Högskolan Helsingfors

Rapport dec -95

Projektet består av två delar, en teoretisk analyserande första del och en problemlösande andra del.

I den till andra avsnittet hörande studien om hur man kan reducera antalet brunnar, tömningar, ventiler etc, finns det systerprojekt i Sverige och Tyskland, t ex Ny Fjärrvärmeteknik och Neuartige Wärmeverteilung.

10 Optimering av tillgängligheten i fjärrvärmesystem

Projektet omfattar utveckling av metoder för dynamisk modellering av abonnentcentraler med hjälp metoder för av neurala nätverk och framtagning av en modell . Samtidigt gjordes jämförande mätningar i två centraler, med god överensstämmelse. Den första delen av projektpaketet avslutades sept -94,. I en fortsättning, rapporterad i mars -95, förbättrades modellen och resultaten jämfördes med det från modeller byggda efter andra idéer. Jämförelse mellan resultatet från den modell som arbetar med neurala nätverk och den som arbetar med statistiska metoder utföll till till det neurala nätverkets fördel.

Med tanke på de stora investeringarna vid byggandet av distributionsnät låses tillgänglighetsnivån normalt vid detta tillfälle. Dock kan vid förnyelse, och komplettering av nät frågan ånyo bli aktuell - den är således hela tiden viktig. Projektledarna bör ha ett livskraftigt nätverk till andra länder att använda för att lösa uppgiften. T ex har man i Norge under i en grupp under Arne Holen gjort intressanta framsteg när elmarknadens avreglering där framtvingat att en leverantör måste kunna kvantifiera tillgängligheten i för sin produkt - något som leder till att tillgängligheten för produktion och distribution måste kunna kvantifieras, var för sig och tillsammans. /12/

11 Dagens och morgondagens material och komponenter för fjärrvärmedistribution- livslängd och statusbestämning

Rosendal & Somminen, IVO

Rapport skall komma nästa år

Projektet har börjat med att man försöker ta hand om två av de problem som finns inbyggda i dagens verksamhet, syrediffusionen i PEX-rör och behovet att rationalisera övervakningen av vattenkvaliteten för mindre verk.

När man nu skall gå vidare för att tackla frågan om morgondagens material är ju detta något som alla fjärrvärmeländer har som en gemensam fråga varför förutsättningarna för att utnyttja nätverk borde vara stort.

12 Provning av värmeväxlare enligt CEN norm

Markku Aho VTT

Rapport finns

Nytan med projektet är att tillverkare kan få sina produkter provade och att LLY:s kunder kan få växlare med säkerställda prestanda.

13 Termografi för fjärrvärmenät

Lasse Koskelainen Komartek OY

Rapport finns

Projektet innehåller utveckling av hård- och mjukvara för termografering av fjärrvärmenät som statuskontroll.

14 Spänningar i markförlagda fjärrvärmeledningar

Arja Saarenheimo, VTT

Rapport finns

Här presenteras materialegenskaper och studeras ett par intressanta fall när det gäller direkt markförlagda ledningar. De detaljfrågor som studeras är väsentliga med tanke på vår förståelse för förutsättningar och problem vid kallförläggning och är ett bra komplement till vad man sysslar med på andra håll.

15 Jämförande prov av utrustning för mätarkalibrering

Jari Kuivanen , IVO

Rapport finns

Projektet är väl avgränsat, med avsikten att undersöka hur väl 13 ackrediterade laboratoriers sätt att mäta stämde överens imbördes och vilken noggrannhet de har.

16 Teknisk/ekonomisk utvärdering av småskaliga kraftvärmeverk

Jussi Teijonsalu EKONO

Rapport finns

Väl avgränsat utvärderingsprojekt. Förutsättningarna är 3 byggda och 4 planerade små kraftvärmeverk. Från början tänkt biobränsle, blev inriktning torv vad gäller bränslet. Avsikten har främst varit att studera storleksberoendet när det gäller kostnadsbilden.

8.17 Användning av absorptionsvärmepumpar i fjärrvärmeproduktion

Sakari Suntaka, EKONO

Rapport kommer dec -95

Väl avgränsat utvärderingsprojekt med tidigare använda komponenter.. Installation i Saarijärvi. Samarbete med Miljöteknik och Fagersta
Projektet innebär processdesign och ekonomisk utvärdering.

8.18 Fjärrkyla med absorptionsmaskiner

Antero Aittomäki, Tampere TKK

Rapport kommer dec -95

Detta är ett "följa utvecklingen"- projekt, eller behöver enligt min uppfattning bara vara det. Det kanske mest intressanta är en delstudie när det gäller betydelsen för produktionen

19 Prognosmodeller för korttidsoptimering av drift av fjärrvärmesystem

Kari Sipilä, Aulis Ranne, Göran Koreneff , VTT Energi.

Rapporter finns

Arbetet har bedrivits i två etapper där del I avslutades sommaren -94 och del II i början av -95. Det har gått ut på att ta fram ett robust, användarvänligt och kostnadseffektivt effektivt verktyg och så vitt jag förstår har man lyckats.

8.20 Utveckling av modeller för simulering av drift av fjärrvärmesystem

Lasse Koskelainen & Pasi Martikainen

Rapporter finns

Projektet omfattar utveckling av metoder för dynamisk modellering av abonnentcentraler med hjälp metoder för av neurala nätverk och framtagning av en modell . Samtidigt gjordes jämförande mätningar i två centraler, med god överensstämmelse. Den första delen

av projektpaketet avslutades sept -94,. I en fortsättning, rapporterad i mars -95, förbättrades modellen och resultaten jämfördes med det från modeller byggda efter andra idéer. Jämförelse mellan resultatet från den modell som arbetar med neurala nätverk och den som arbetar med statistiska metoder utföll till till det neurala nätverkets fördel.

Bilaga G

Utdrag ur

Energiministeriets forskningsudvalgs rapport över verksamheten 1980 -94.

Rapporten avser forskning- och utvecklingsverksamhet inom områdena

- Bränslen och förbränningsteknik
- Fjärrvärme och produktion av el och värme
- Miljö och restprodukter

Nedan ges en redovisning av projekt inom området distribution och användning av fjärrvärme under de senaste 10 åren. Projekten har delats upp i sex olika områden A t o m F

A = Distributionssystemspecifika projekt

B = Användningsspecifika projekt

C = Drift av (hela) fjärrvärmesystem

D = Mätning och mätare samt växlare

E = Särskilda frågor

F = Halt vatten

Totalt har man inom de olika områdena genomfört projekt och föreligger rapporter i antal enligt nedan, d v s totalt 96 stycken.

Område	Antal
A	29
B	36
C	11
D	12
E	4
F	4

Nedan följer en sammanställning avseende **de senaste 10 åren med de senaste projekten först i listorna**

För att underlätta för svenska läsare har jag översatt rubrikerna för projekten från danska till svenska

Projektområde A -Distributionssystemspecifika projekt

Proj nummer	Projektnamn	Utförare
1323/93-0023	Livslängd hos prefabricerade FV-system	Birch och Krogboe
1323/93-0008	Långtidsisoleringsförmågan hos cellplastmaterial	Leif Amby,DTI, Jylland
1323/92-0021	Försöksledning för att studera värmeförluster	Benny Böhm, Lab f Varne & Klima, DTU
1323/92 - 0015	Pur cellplasts mek egenskaper i preisolerade FV rör	Leif Amby, DTI, Jylland
1323/91-009	Styrka och livslängd hos preisolerade FV rör, del II	Leif Amby, DTI Jylland
1323/89-11	Kontroll av svetsade mantelrörsskarvar	Jørn Besch, DTI, Jylland
1323/88- 11	Styrka och livslängd hos preisolerade FV-rör av plast	Leif Amby, DTI, Jylland
1323/88- 10	Diffusionsförhållanden i preisolerade FV-rör av plast	Leif Amby, DTI, Jylland
1323/87-04	A) Bestäm av värmeförluster vid normal drift B) Enkla metoder för att best värmeförluster vid normal drift	Benny Böhm, Varne & Klima DTU
1413/87-03	Specialprovning av svetsade mantelrörsskarvar	Leif Amby, DTI, Jylland
1413/87-02	Utprovning av ny metod för värmefotografering av FV ledningar	Bjeld &Lauritsen
1413/87- 01	Icke-destruktiva kontr.metoder på skummade skarvar på FV-ledningar	Leif Amby; DTI; Jylland
1413/86-06	Fältnätningar på transmissionsledningar	Jesper Gath, KV Vest
1413/86-01	Dynamiska egenskaper hos PURskum	Leif Amby, DTI, Jylland

1413/85-03	Vidhäftning mellan PUR och mediarör	Meyer, DTI, Jylland
1413/85-01	Mantelrörskarvar på preisolerade FV-rör	Bryder, DTI&K E Hansen R;H&H

Projektområde B-Användningsspecifika projekt

Proj nummer	Projektnamn	Utförare
151/90-0035	Central uppvärmning i äldre byggnad	Rambøll, Hanneman & Højlund
151/88-45	Nattsänkning i hyreshus - under sökning m h t drift av FV- system	Lab for Varmer & Klima DTU
1323/93-0007	(Prognosbaserad) reglering av framloppstemp från fjärrvärmeværk	IMSOR,DTU
1323/92-0014	Optimal FV-anslutning till lågtemperatursystem	Aarhus Kommunale Værker
1323/89-12	Förbättring av större undercentraler genom dynamisk modellering vad gäller utformning och reglering	Lab for Varmer & Klima, DTU
1323/88-31	Lågtemperaturfjärrvärme - Ekonomiska och organisatoriska hinder för övergång i existerande byggnader	Nellemann&Carl Bro
1323/88-30	Undersökning och beskrivning av värmecentralers automatik och instrumenteringsgrad	DTI & dk Teknik
1323/88-13	Pulserande fjärrvärme, fas 3-mätning i delnät	Varmer & Klima, DTU
1413/86-04	Pulserande fjärrvärme fas 2-förbrukarenheten	Varmer& Klima DTU, Quisgaard & Andersson
1323/90-0013	Ensträngad pulserande fjärrvärme	DK Teknik
1413/87-07	Reglering av FV vid indirekt anslutning av enfamiljshus	Witt&Paulsen, DTI

1413/87-06	Anslutning av verksamheter till transmissionssystem för FV	Bruun&Sörensen
1413/86-07	Temp.sänkning i indirekt (med vvx) anslutna anläggningar	Bruun &Sörensen
1413/86-05	Förbättring av avkylningen i enrörssystem	DTI
1413/86-03	Installationer hos större förbrukare	DTI Jylland
1413/86-02	Belastningsförhållanden hos större förbrukare	Brydov ApS
1233/86-03	Användning av fjärrväme i trädgårdsmästerier	Ole Maare
1413/85-04	Lågtemperaturdrift av existerande FV-nät	Børge Jørgensen, DTI

Projektområde C -Drift av hela system

Projektnummer	Projekt namn	Utförare
151/87-15	Utveckl av modell för värme - och elproducerande system	Risø
1323/91-0010	Optimal drift av FV-system	Varme&Klima DTU,dokt avhandl Ó Pálsson
1323/89-14	<i>Ett flertal rapporter om modeller och metoder för optimering av drift av FV-system</i>	IMSOR - Ken Sejling m fl
1323/88-12	<i>Fyra rapporter om dynamisk modellering mm av fjärrvärmesystem</i>	Varme&Klima, DTU Bøhm & Benonyson
1413/86-08	Belastningsutjämning gnm effektregrering	Brydov ApS
1413/85 -08	Demoanläggning för energiekonomisk drift	Herning Kommunale Værker

Projektområde D, Mätning och mätare samt växlare

Projektnummer	Projektnamn	Utförare
1323/93-0024	Dyn provning av mätare för Fjärrvärme	DTI, Jylland
1323/93-0009	Plattvux i stora FV-system	DTI, Själland
1323/92-0017	Dynamisk mätning av fjärrvärme	Aarhus kommun
1323/92-0012	Mätning av fjärrvärme med additiv	Center f FV teknologi
1323/90-0015	Insitu-kalibrering av stora energimätare	Isotopcentralen
1323/88-14	Energimätn och mätprinciper för FV	Esbjerg Kommun
1323/87-08	Kalibrering på plats av stora mätare	DTI, Jylland Michael Trane

Projektområde E- Särskilda frågor

Projektnummer	Projektnamn	Utförare
1323/93-0020	Matematisk modell för kostnadsriktig bonustariff för fjärrvärme	Birch & Krogboe
1323/92-0025	Förekomsten av mikrober i FV-system - en undersökning	Center for FV-teknologi

Projektområde F- Halt vatten

Projektnummer	Projektnamn	Utförare
1323/92-0012	Mätning av FV med additiv	Center for FV-teknologi

1323/92-0012	Mätning av FV med additiv	Center for FV-teknologi
1323/92-0013	Halt vatten och rörkondensatorer	B&S Energiteknik
1323/90-0011	Konsekvenser för anlägg. för vattenbehandling vid användn. av halt vatten	B&S Energiteknik
1323/90-0010	Tryckstöt i FV-system med halt vatten	B&S Energisystem

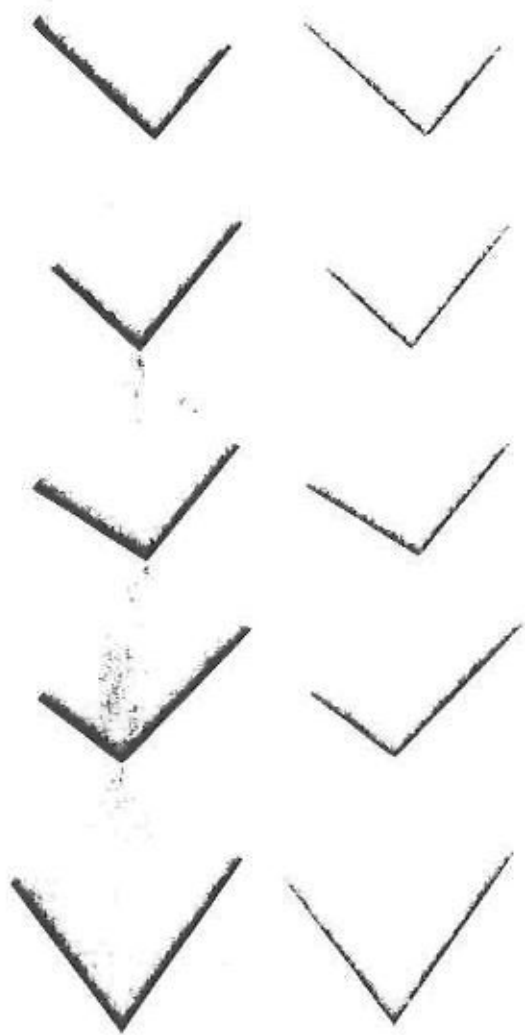
Några slutsatser

- Varme & Klima vid DTU (tidigare DTH) med Benny Bøhm och hans doktorander har gjort väsentliga insatser när det gäller dansk fjärrvärmeutveckling. När det gäller driftoptimeringsfrågor har ett nära samarbete mellan Varmer & Klima och IMSOR ägt rum
- När det gäller undersökningar kring produkten preisolerade rör, där danska tillverkare har en ledande marknadsställning, har Leif Amby spelat en ledande roll.
- För området halt vatten har Bruun & Sørensen profilerat sig. Bland konsultföretagen märks främst Ranbøll (tidigare Rambøll, Hannemann & Højlund).
- Under de senaste 10 åren har antalet projekt som sysslar med frågor kring fjärrvärmens användning hos kunden (inklusive måtar- och växlarfrågor) till antalet varit störst (47%) medan de som behandlar med distributionssystemets komponent- och materialfrågor kommit på andra plats (30 %).

FINITE-ELEMENTE-SYSTEM FÜR
KONSTRUKTION,
FORSCHUNG, ENTWICKLUNG

COSAR[®]

COMPUTER SYSTEM FOR ANALYSIS & RESEARCH



FEMCOS THE ENGINEER'S ANALYSIS TOOL

ÜBERSICHT ÜBER DIE FACHSYSTEME

COSAR ist das führende deutsche Finite Elemente Programmsystem für lineare und nichtlineare Bauteilanalysen mit einer leistungsfähigen aber unkomplizierte Verbindung zu CAD-Systemen. Mit seinen interaktiven Pre- und Postprozessoren für schnellen und guten Netzgenerierung und Ergebnisauswertung ist COSAR ein sehr flexibles und ideales Berechnungswerkzeug.

COSAR is the leading German finite element analysis program for linear and non-linear analysis and a powerful yet simple-to-use linkage to CAD systems. Together with its interactive pre-processor and post-processor, COSAR provides ideal and flexible analysis capabilities as well as ease of model generation and result interpretation.

Elastostatik

Verformungs- und Spannungsberechnung

Materialeigenschaften: isotrop, beliebig anisotrop, Materialdaten können struktur-, element- und knotenweise veränderlich und temperaturabhängig sein.
Belastungen: Einzelkräfte und Momente, konstante und veränderliche Linien- und Flächenlasten, Volumenlasten, Temperatur.
Randbedingungen: verbotene und vorgeschriebene Verformungen, Sektorsymmetrie, allgemeine Zwangsbedingungen, elastische Lagerungen.
Berechnungstechnik: Superelement-/Substrukturtechnik, rationale Variantenkonstruktion, beliebige Lastfallkombinationen in einer Rechnung, faktorierte Lastfallüberlagerung, keine Modellgrenzen, die Attribute auf beliebige lokale Koordinaten beziehbare, automatische adaptive Netzgenerierung, direkte Temperaturfeldübernahme; Ergebnisauswertung nach verschiedenen Kriterien; Stabilitätsberechnungen.

Elastostatics

Displacement and Stress Analysis

Material Properties: isotropic or any anisotropic behaviour, material properties can vary over substructures, elements and even nodes as well as be temperature dependent.
Loading: single loads and moments, constant and variable line and pressure loads, volume loads, temperature.
Boundary Conditions: single and general constraints, enforced displacements, sector symmetry, elastic support, elastic connection.
Especially: super element / substructure technique, efficient variant calculation, random number of load cases in each analysis, factorised load case overlay, unlimited model size, all attributes can be described in any local coordinate system, automatic adaptive mesh generation, buckling, automatic import of heat transfer results for thermal stress analysis, judgement of results by a variety of methods.

Dynamik

Eigenoscillations, stationäre und transiente Schwingungen, Antwortspektralmethode, Modellupdating

Materialigenschaften, Belastungen und Randbedingungen: siehe Elastostatik, zeitlich veränderliche Lasten und Verschiebungen, zusätzliche Punktmassen und Drehtauglichkeiten und Modellierung ganzer Bereiche als Starrkörperelemente.
Besonderheiten: Berücksichtigung von Vorspannung; Ausnutzung der Sektorsymmetrie; Superelement-/Substrukturtechnik; Lösung im Frequenz- oder Zeitbereich; strukturweise veränderliche Dämpfung, Dämpferelemente; Spannungsberechnung zu beliebigen Zeitschritten; Modellupdating.

Dynamics

Eigenfrequencies and Mode Shapes, Steady State and Transient Vibration, Response Spectrum Technique, Model Updating

Material Properties, Loading and Boundary Conditions: see also elastostatics, time dependent loading and displacement, additional point and rotational masses at nodes, modelling components as rigid bodies, modal and direct solution.
Especially: pre-stressed structures, sector symmetry, super element/substructure technique, damping can be different in substructures, damper elements, stress calculation for any time steps, model updating.

Temperaturfeld

Stationäre und transiente Temperaturverteilungen, linear und nichtlinear

Materialeigenschaften: isotrop; beliebig anisotrop, Materialdaten können struktur- und elementweise veränderlich und temperaturabhängig sein.
Belastungen und Randbedingungen: Wärmequellen, Wärmeströme, Wärmeübergänge; Strahlung; Zeit- und Temperaturabhängigkeit kann berücksichtigt werden.
Besonderheiten: automatische Kopplung der Temperaturfeldberechnung mit der Elastostatik (Wärmespannungen), Temperaturgradienten, Superelement-/Substrukturtechnik.

Heat transfer

Steady State and Transient Heat Transfer, Linear and Non-linear

Material Properties: isotropic or any anisotropic behaviour, material properties can vary over substructures, elements and even nodes as well as be temperature dependent.
Loading and Boundary Conditions: heat source, flux, convection, and radiation, time and temperature dependence can be considered.
Especially: automatic coupling of heat transfer and thermal stress analysis, temperature gradients, super element/substructure technique.

Nichtlinear

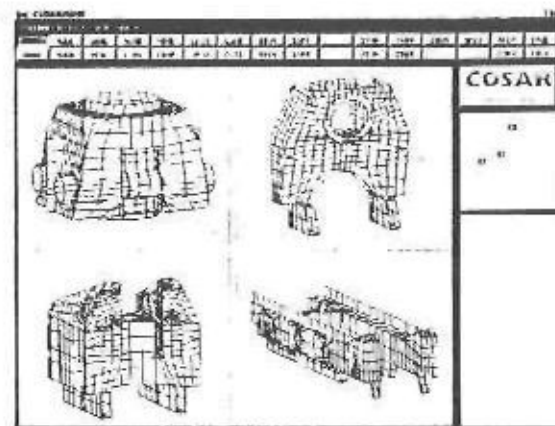
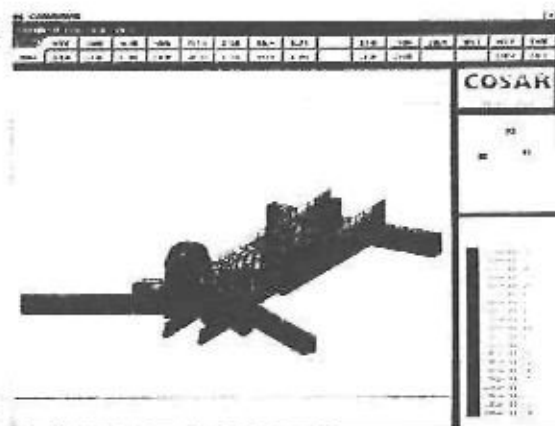
Berechnung von Bauteilen mit nichtlinearem Materialverhalten

elastisch-plastisches Materialverhalten: Fließgesetz nach Prandl/Reuss, automatische Lastinkrementierung, Ausnutzung der Superelement-/Substrukturtechnik, Spannungs-Dehnungsgesetz als parametrisierte Kurve einbaubar.
visko-plastisches Verhalten (Kriechen): verallgemeinerte Dehnungs-Zeitverfestigung, Deformationsgesetz (Norton-Gesetz und verallgemeinerte Gesetze).

Non-Linear

Simulation of Structural Problems with Non-linear Material Behaviour

Elastic-plastic Material Behaviour: flow rule by Prandl/Reuss, automatic load increments, exploitation of super element/substructure technique, parameterised input of stress-strain curve.
Visco-plastic Material Behaviour (Creep): generalised strain-time hardening rule, deformation law (Norton's law and other generalised laws).



Finite Elemente-Modell
des Unterbaues einer Betonpumpe / ①



Modellgenerierung

Preprozessor COSMESH: grafisch interaktive Generierung der Geometrie und des FE-Netzes, einschließlich Substrukturtechnik

Geometriegenerierung: Übernahme aus CAD-Systemen (IGES, DXF, STEP) und Bearbeitung, Ergänzung und Veränderung; umfangreiche Methodenbank zur Geometriegenerierung und Manipulation

FE-Vernetzung: geometriebezogene, automatische Vernetzung; automatische Substrukturverbindung, Netzanpassung und Ver-

FE Meshing: geometry based automatic meshing, automatic substructure joining, automatic mesh adaptation and compression over all geometries and structures

Provision of Attributes: material properties, thicknesses, cross section parameters, boundary conditions, loads, potential contact surfaces, etc

Processing and Modification: possible at any time, geometry and FE basis is stored, session protocol activation, automatic support of variant calculations

Ausgaben

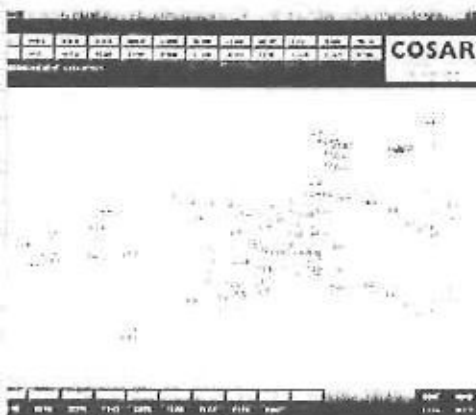
Bilder, Ergebnisgrößen, Listen

- Bildausgaben für jede Darstellung (Geometrie, FE-Modell, Ergebnisdarstellungen) DTP fähig (Bit-Map, HPGL, RGB, ...)
- Bildspeicherung und -wiedergabe
- Ausgewählte Ergebnisgrößen als ASCII-File
- Listenausgabe von Modell- und Ergebnisgrößen
- Neutralfileausgabe von Modell- und/oder Ergebnisgrößen
- wiederverarbeitbare Protokollfiles für Modellgenerierung

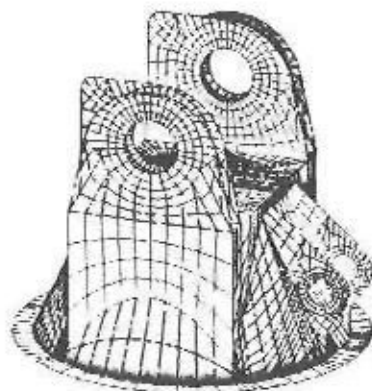
Output

Plots, Results, Listings

- imaging of all screen plots (geometry, FE model, results) ready for DTP (BIT-MAP, HPGL, RGB, ...)
- image storage and replay
- selected result data as ASCII-File
- listings of model and result data
- neutral file output of model and/or results
- reusable protocol files of model generation sessions



Geometriegenerierung auf der Grundlage von CAD-Daten



Festelemente-Modell mit Superelemententechnik eines Drehkopfes/ ①



Spannungsverteilung eines Drehkopfes/ ①

Lichtung (auch über Geometrie- und Strukturgrenzen hinaus): Attributzuordnungen (geometriebezogen): Materialeigenschaften, Dicken, Querschnittswerte, Randbedingungen, Belastungen, Kontaktgebiete usw.

Bearbeitung und Modifikation: jederzeit möglich durch Speicherung des Geometrie- und FE-Modells; Protokolldatei einer Sitzung aktivierbar, automatische Unterstützung von Variantenrechnungen

Model Generation

Pre-processor COSMESH: Graphic Interactive Geometry and FE Mesh Generation including Substructure Technique

Geometry Generation: reads CAD data directly (IGES, DXF, STEP), processing, complementation, changing, variety of methods for geometry generation and manipulation

Kontrolle

grafisch interaktive Modellkontrolle für die Gesamtstruktur, Substrukturen und Elemente

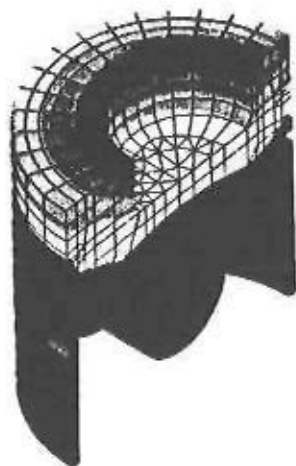
- Linien-, Farb- und Konturdarstellungen, Hiddenline
- Nummerierungen, Markierungen
- Drehungen, Zooming, Schritte
- Belastungen, Randbedingungen
- Bildschirm Splitting
- Picken von Knotenkoordinaten
- Farbanpassung
- Skalierung
- Masse, Massenträgheitsmomente, Hauptachsen, Schwerpunktlage
- Netz- und Elementgüte

Checking

Graphic Interactive Model Checking for Whole Model, Substructures and Elements

- wire frame, colour and contour display of model, hidden line
- numbering, markers
- rotation of model, zooming, display of sections
- loads, boundary conditions
- screen splitting
- cursor queries for co-ordinates
- colour change for display
- scaling
- mass, moments of inertia, principal axes, centres of gravity
- mesh and element quality check

① Mit freundlicher Genehmigung der Putzmeister-Weik Maschinenfabrik GmbH Aichtal



Temperaturverteilung in einem Karosserieteil

Auswertung

grafisch interaktive Modellauswertung für alle Ergebniskomponenten

- Linien- und Vollkörperdarstellung für Verformungen (Statik und Dynamik)
- Beliebige Ergebniskomponente als Isolieren- oder Farbflächenbilder
- Einstellung der Farbweite und Skalenteilung
- Vektorfeldarstellungen (Richtung und Größe)
- Animation der Ergebnisgrößen
- Schnitte, Ausschnitte, Drehungen, Zooming
- Picken von Ergebniswerten
- Darstellung von Fehlerindikatoren

Result Display

Graphic Interactive Model Interpretation

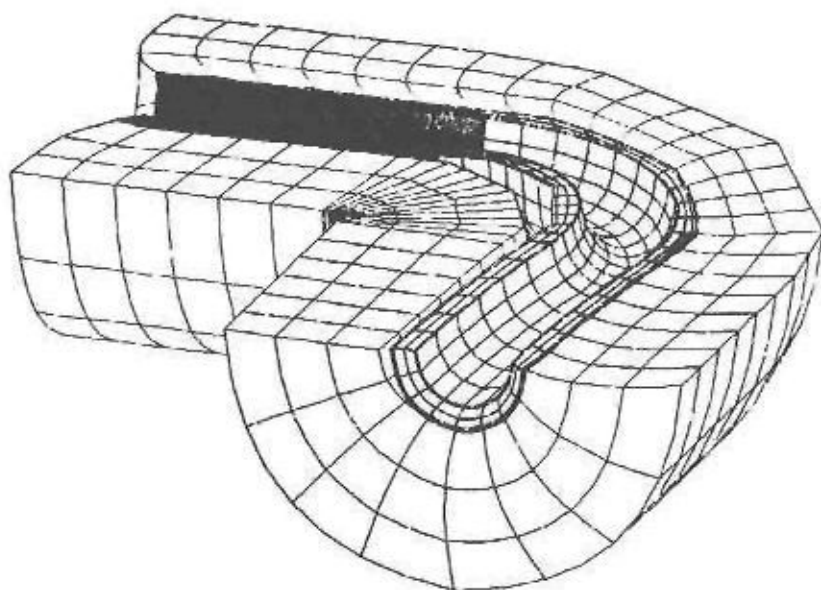
- line, contour and full colour plots of displacements (static and dynamic)
- any result components as isolate or fringe patterns
- user definable colours and colour legends
- vector plotting shows direction and magnitude
- animation of results
- sections, clipping, rotations, zooming
- cursor queries of results
- colour display of error indicators



auswertung

COSAR wird in zahlreichen Forschungsprojekten im Bereich der Struktur- und numerischen Mechanik als Entwicklungs- und Berechnungswerkzeug eingesetzt. Die enge Forschungskooperation von FEMCOS mit der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg und mit anderen Einrichtungen in Deutschland unterstützen die fachliche Weiterentwicklung von COSAR.

COSAR is widely used in a number of research projects in structural and numerical mechanics and as a tool for development and computation within these fields as well. Close co-operation with Otto-von-Guericke-University Magdeburg and other research institutions in Germany lends support to a continuing development of the COSAR system.



Interaktion einer Kunststoffverstärkung (Femur) im Boden



auswertung

- In der COSAR-Entwicklung gibt es keinen Stillstand. Das Programm wächst mit neuen Anforderungen und Bedürfnissen:
- Parallelrechnerversionen mit neuen Algorithmen zur Leistungssteigerung
- Verarbeitung von A-priori-Wissen bei der FE Modellierung; Erhöhung der Intelligenz der Netz- und Geometriegenerierung
- Erweiterung der Fehlerabschätzungen und der automatischen, adaptiven Fähigkeiten
- Neue und erweiterte Materialmodelle
- Neue Formen der automatisierten Bauteiloptimierung

The COSAR system is constantly evolving to meet new analysis needs:

- parallel version of the code with new algorithms for high performance
- utilisation of a priori knowledge in FE model generation, increase of intelligence of methods for geometry and mesh generation
- further improvement of error estimation and adaptive abilities
- new and extended constitutive models
- new steps in automatic design optimisation

ALLGEMEINE SYSTEM- EIGENSCHAFTEN

Anwendungsbereiche

Die Breite der industriellen Nutzung der COSAR-Software wird durch die folgenden Schwerpunkte des bisherigen Systemein-satzes dokumentiert:

- **Werkzeugmaschinenbau**
Maschinengestelle, Spindelkästen, Spannelemente, Antriebe
- **Pumpen- und Verdichterbau**
Laufräder, Gehäuse
- **Armaturenbau**
Ventile, Hähne, Gehäuse
- **Schwermaschinen- und Anlagenbau**
Walzwerke, Verselmaschinen, Brecher, Pressen, Behälter, Kraftwerksausrüstung
- **Motorbau**
Zylinderköpfe, Kolben, Lauffächer, Pleuellwellen, Pleuellgehäuse
- **Fahrzeug- und Fortbewegungsbau**
Karosserieteile, Rahmen, Achsen, Transportbehälter, Fahrgestelle, Baggerschaukeln, Bremsenteile
- **Bauwesen, Baumaschinen**
Bauplatten, Geschoßdecken und Stützen, Fundamente, Staudämme, Containers, Stahlbau
- **Schiffbau**
Deckplatten, Schiffsaufbauten, Spanten, Schiffsschrauben
- **Fernwärmeindustrie**
Kunststoffmantelrohre, Krümmer und Abzweige, badenmechanische Probleme, Kriechen von PUR-Schäumen
- **weitere Anwendungsbereiche**
Medizintechnik, optischer und feinmechanischer Gerätebau, polygraphische Industrie etc.

Application Fields

COSAR is widely used in industry. Projects completed have been in the following fields:

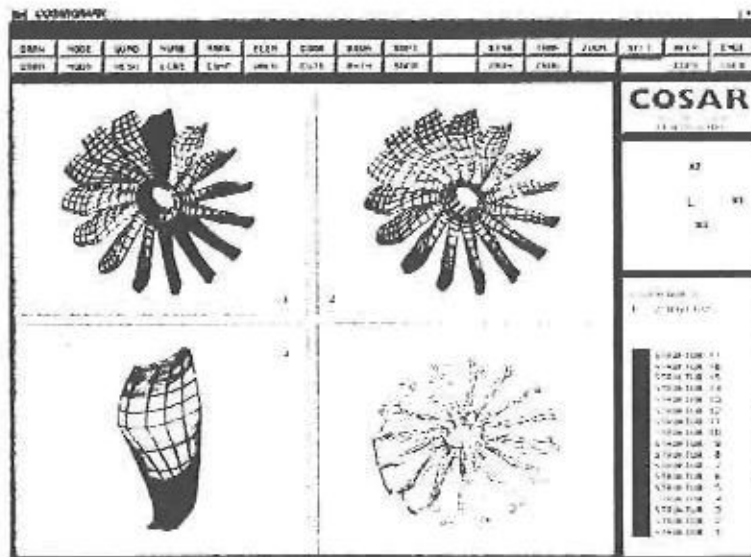
- **Machine Tools Industry**
machine frames, housings, chucks, drives
- **Pumps and Compressors**
impeller, housings
- **Armature Industry**
valves, flanges, housings

- **Heavy Machinery, Structures**
rolling mills, cable machinery, crushing mills, presses, power plant equipments
- **Motors**
cylinder heads, pistons, bushings, crank shafts, gear drives, housings
- **Vehicles and Materials Handling Machinery**
bodies, frames, axles, containers, bogies, excavator buckets, brakes
- **Construction, Construction Machinery**
panels, floors and columns, foundations, dams, containers, steel structures
- **Naval Architecture**
decks, superstructures, ribs, propellers
- **District Heating**
insulated pipes, elbows and branches, soil mechanics, creep of PUR-foam

- einheitliche Elementkataloge für alle Fachsysteme
- Superelement-/Substrukturtechnik mit automatischer Hyperstrukturgenerierung, Reduktion der Bearbeitungs- und Rechenzeiten sowie des Speicherbedarfs, effektive Variantenrechnungen
- On-Line-Hilfen für den Anwender und zur Systemdokumentation

COSAR is the answer to the need for fast and affordable Finite Element Analysis. It is optimised for high performance under UNIX, MS-DOS or other operating systems. COSAR highlights are:

- logical interactive menu driven management of all steps of FE analysis



Eigenverformungen eines Lüfters
Superelementtechnik, 3D-Modell

- **Other Applications**
medical instruments, optical apparatuses and instrumentation engineering, printing presses

COSAR ist die Antwort auf die Forderung nach einer leistungsfähigen Bauteilberechnung, die man sich auch leisten kann.

COSAR ist optimiert auf hohe Produktivität – ob unter UNIX, MS-DOS oder anderen Betriebssystemen. COSAR zeichnet sich besonders aus durch:

- leicht handhabbare, einheitliche interaktive Ablaufsteuerung für alle Prozesse einer FE-Analyse
- Automatische Geometrie- und FE-Modellgenerierung durch interaktives Preprocessing
- Zugang zu einer Vielzahl von CAD- und FE-Softwareprodukten über neutrale Datenschnittstellen: z. B. DXF, IGES, STEP, FEMDAS ...
- vielfältige Berechnungsmöglichkeiten

- automatic geometry and mesh generation by interactive pre-processing
- access to a variety of CAD and FEA codes via neutral data exchange standards, i.e. DXF, IGES, STEP, FEMDAS etc.
- large variety of analysis types and advanced analysis features
- extensive library of elements for all analysis types
- super element/substructure technique with automatic joining of structures, reduction of model generation and computing time and storage needs, effective variant computation
- on-line help and system documentation

Beratung

Experten der FEM-Entwicklung und Anwendung beraten Sie in allen Fragen der Anwendung der Finite-Elemente-Methode und ihrer Einbindung in vorhandene CAE-Umgebungen (CAD-Systeme, Personalanforderungen, Hardware, Datenbanken, Netzwerke, etc.). FEMCOS hilft seinen Kunden, bessere und zuverlässigere Produkte bei geringeren Kosten und in weniger Zeit entwickeln zu können.

Consulting

FEMCOS employs specialists in a variety of engineering and scientific disciplines to provide services in all aspects of integration of the Finite Element Method with computer aided engineering systems (CAD, qualification needs, hardware, data management, networks, etc.). FEMCOS helps customers to build better and safer products, at lower cost, in less time.

Schulung

FEMCOS veranstaltet Einstiegskurse und Seminare zu speziellen Anwendungsbereichen der FEM und zum Einsatz des COSAR-Systems. Schulungen beim Anwender und individuelles Training gehören ebenfalls zum Angebot. Gemeinsam mit dem Institut für Mechanik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg organisieren wir Anwenderkonferenzen, auf denen renommierte Gäste aus der Wissenschaft und Industrie aktuelle Trends und Forschungen auf dem Gebiet der FEM vorstellen und neue Entwicklungen in COSAR aufzeigen.

Training

FEMCOS offers training classes, ranging from introductory courses for beginners to advanced courses for experts. In-house and customised classes are also available. Together with the Otto-von-Guericke-University we organise user conferences to deal with new findings in Finite Element Methods and in developments of the COSAR system itself, with speakers invited from industry and academic institutions.

Dienstleistungen

FEMCOS führt komplette Auftragsbearbeitungen auf dem Gebiet der mechanischen Bauteilanalyse (Statik, Dynamik, Wärmeleitung, nichtlineare Phänomene u. a.) aus. Wir garantieren eine detaillierte Problemanalyse, sachkundige Fachberatung des Kunden, vernünftige, kostengerechte Berechnungskonzepte, Termintreue, Festpreise und eine aussagekräftige Ergebnisdokumentation (Berichte, Tabellen, Grafiken, Optimierungsvorschläge). Als Entwickler und Anwender von FEM-Software bieten wir Ihnen auch maßgeschneiderte FE-Lösungen an.

Services

FEMCOS engineering analysis service includes structural and heat transfer analyses (linear and non-linear). We guarantee good quality from consultation to final report (with tables, graphics and suggestions for further optimisation), prompt job execution by the promised date, and at reasonable as well as fixed price. With our great experience in consulting and software development we can supply you with customised FE programming.

FEMCOS

Gegründet wurde die Forschungsgesellschaft für Technische Mechanik FEMCOS - Ingenieurbüro mbH im März 1990 von den Entwicklern des COSAR-Systems. FEMCOS stellt mit seinem Hauptprodukt COSAR innovative Software auch für komplizierteste Ingenieurprobleme bereit. Die Verfügbarkeit von COSAR auf allen gängigen Rechnerplattformen, die übersichtliche, durchgängige Menüführung mit deutscher Benutzeroberfläche sowie die außergewöhnlichen Systemleistungen haben den Nutzerkreis des Systems enorm wachsen lassen. Pflege, Wartung, Schulung, Nutzerberatung und Weiterentwicklung liegen in einer Hand - zum Vorteil des Kunden.

FEMCOS

«Forschungsgesellschaft für Technische Mechanik FEMCOS - Ingenieurbüro mbH» was founded in March 1990 by the developers of the COSAR system. With their principal product COSAR, FEMCOS engineers provide innovative software solutions to tough engineering problems. Reasons for the immense increase of COSAR usage are, that COSAR runs on all main computer platforms and the package offers one of the most comprehensive, flexible and powerful FE analysis systems. Maintenance, support, training, consulting and further development are in one hand - to the advantage of the customer.



Forschungsgesellschaft für Technische Mechanik
FEMCOS-Ingenieurbüro mbH

39114 Magdeburg • Herrenkrugstr. 9
Telefon 03 91/55 84 11-15 • Fax 03 91/55 84 30

Rechnerische Analyse bei nichtlinearem, elastisch- plastischem und visko- plastischem Materialverhalten

H. Köppe , TU Magdeburg,

1. Einleitung

Neue Konstruktionswerkstoffe, der immer stärker werdende Zwang nach einer besseren Auslastung des Tragverhaltens von Konstruktionen und Baugruppen und eine genauere Schadensvorhersage erfordern für eine Vorausberechnung den Einsatz komplexerer Werkstoffmodelle, die über das klassische linear-elastische Materialverhalten hinausgehen. Im Zusammenhang mit modernen numerischen Berechnungsverfahren entscheiden realitätsnahe Werkstoffabbildungen neben exakten Geometrie- und Belastungsmodellierungen über die Genauigkeit und Aussagefähigkeit der Ergebnisse sowie deren Relevanz für weiterführende Untersuchungen. Neben dem klassischen plastischen Verhalten von Werkstoffen beobachtet man zum Beispiel bei speziellen Leichtmetalllegierungen, Kunststoffen, Keramikmaterialien, Kompositen usw. unter Belastung sowohl bei Raumtemperatur als auch bei erhöhten Temperaturen viskoplastische Eigenschaften, die sich komplexer darstellen als die bei traditionellen Konstruktionswerkstoffen. Experimentelle Untersuchungen zeigen für solche Materialien belastungsabhängige Kriecheigenschaften, kompliziertes Verfestigungsverhalten und in der Regel Anisotropieeigenschaften. Die Berücksichtigung der wesentlichen Effekte in den Konstitutivgleichungen führt somit unweigerlich zu einem komplizierten Aufbau der Gleichungen mit einer Vielzahl von Freiwerten, die aus repräsentativen Versuchen bestimmt werden müssen. Während sich die Einbindung nichtlinearer Materialgesetze in numerische Berechnungsverfahren als relativ unkompliziert darstellt, erweist sich die Bereitstellung experimentell gesicherter Materialparameter für die unterschiedlichen Werkstoffgesetze als weitaus aufwendiger.

Die Methode der Finiten Elemente ist ein geeignetes numerisches Verfahren solche Probleme mit vertretbarem Aufwand zu lösen. Neben einer leistungsfähigen Rechentechnik stehen in der heutigen Zeit zur Lösung des entstehenden Anfangs- Randwert-Problems effiziente Berechnungsalgorithmen zur Verfügung.

2. Der Programmzweig COSAR/N(ichtlinear)

Im Rahmen der Entwicklung des Programmsystems COSAR wurde ein Zweig zur nichtlinearen Strukturanalyse mit folgenden Merkmalen konzipiert und im wesentlichen realisiert:

Voraussetzungen:

- Kleine Deformationen
 - Assoziierte Theorie
 - Fließtheorie
 - Additive Aufspaltung der Deformationen

Lösungsstrategie:

- Inkrementell - iterative Vorgehensweise
- Direkte Zeitintegration

Materialgesetze :Elastoplastizität:

Ideal - elastisch - plastisch
 isotrop verfestigend
 kinematisch verfestigend
 Fließbedingung nach HUBER und
 v. MISES

Viskoplastizität:

Kriechgesetz nach NORTON
 Verallgemeinertes Kriechgesetz
 ROBINSON - Modell

Implementierung weiterer Materialgesetze über Unterprogrammsschnittstelle möglich!

Lösungsalgorithmen:

Newton - Raphson - Verfahren

Radial - Return - Algorithmus
 Explizite und implizite Zeit-
 integration (Generalized Midpoint
 Rule (GMR))
 Konvergenzbeschleuniger
 Automatische Last- und Zeit-
 schrittsteuerung

Elementkatalog:

isoparam. Scheibenelemente

isoparam. rotationssymm. Elemente
 isoparam. 3D-Vollkörperelemente
 Dicke Schalen- und Plattenelemente
 (nur für Elastoplastizität)

Service :

Durchgängige Nutzung des Pre- und Postprozessors
 des COSAR - Hauptsystemes
 Einbeziehung der Substrukturtechnik in nicht-
 lineare Berechnungsstrategie
 Wiederanlaufmöglichkeiten

3. Spezielle Konstitutivgleichungen für rheonome Materialeigenschaften

Bedingt durch den physikalischen Vorgang lassen sich nichtlineare Probleme allgemein mathematisch als Anfangs- Randwert-Probleme beschreiben. Im Sonderfall des elastischen Materialverhaltens vereinfacht sich die Darstellung zu einem reinen Randwertproblem. In einer Art Standardformulierung können die Deformationsgesetze wie folgt zusammengefaßt werden:

$$\begin{aligned} \mathbf{e}_{ij}^o &= \mathbf{J}_{ijk} \mathbf{S}_{kl}^o + \mathbf{b}_{ij} + \mathbf{b}_{ij}^T \mathbf{T}_{kl}^o \\ \mathbf{h}_{ij}^o &= \mathbf{A}_{ijk} \mathbf{S}_{kl}^o + \mathbf{c}_{ij} + \mathbf{c}_{ij}^T \mathbf{T}_{kl}^o \end{aligned} \quad (1a)$$

oder in inverser Form

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_{ij}^{\circ} &= \mathbf{C}_{ijkl} \mathbf{e}_{kl}^{\circ} + \mathbf{d}_{ij} + \mathbf{d}_{ij}^T \mathbf{T}_{kl} \\ \mathbf{h}_{ij}^{\circ} &= \mathbf{B}_{ijkl} \mathbf{e}_{kl}^{\circ} + \mathbf{j}_{ij} + \mathbf{j}_{ij}^T \mathbf{T}_{kl} \end{aligned} \quad (1b)$$

Die Tensoren 2. Stufe $\mathbf{S}_{ij}^{\circ}$ und $\mathbf{e}_{ij}^{\circ}$ sind den Spannungs- und Verzerrungsgeschwindigkeiten zugeordnet, die einen Beitrag zur spezifischen mechanischen Leistung liefern. Der Tensor $\mathbf{h}_{ij}^{\circ}$ enthält die internen Parameter des Deformationsgesetzes. Der Tensor $\mathbf{T}_{kl}$ beschreibt das Temperaturfeld. Die zeitunabhängigen materialbeschreibenden Größen sind in den Tensoren 4. Ordnung $\mathbf{J}_{ijkl}, \mathbf{A}_{ijkl}, \mathbf{C}_{ijkl}, \mathbf{B}_{ijkl}$, die zeitabhängigen Materialwerte sind in den Tensoren $\mathbf{b}_{ij}, \mathbf{c}_{ij}, \mathbf{d}_{ij}, \mathbf{j}_{ij}$ enthalten. Die Tensoren $\mathbf{b}_{ij}^T, \mathbf{c}_{ij}^T, \mathbf{d}_{ij}^T, \mathbf{j}_{ij}^T$ enthalten die temperaturfeldabhängigen Stoffgrößen. Der Punkt ($^{\circ}$) kennzeichnet die Ableitung nach der Zeit.

Die Zeitabhängigkeit hat bei skleronomen nichtlinearen Problemen (z. B. Elastoplastizität) nur einen fiktiven Charakter. Aus diesem Grund wurde in COSAR für die Lösung solcher Aufgaben eine inkrementell - iterative Strategie statt der direkten Zeitintegration gewählt. Eine ausführliche Beschreibung ist in / 3 / und zu finden.

In diesem Beitrag sollen die zeitabhängigen Materialmodelle im Vordergrund stehen. Neben dem NORTONschen Gesetz für Kriechvorgänge existiert in COSAR/N auch die Möglichkeit bei rheonomen Materialeigenschaften ein verallgemeinertes Kriechgesetz oder bei viskoplastischen Vorgängen das sogenannte ROBINSON-Modell / 6 / zu verwenden.

3. 1 Verallgemeinertes Kriechgesetz

Für den rheonomen Tensor 2. Stufe $\mathbf{b}_{ij}$ gilt im viskoplastischen Fall

$$\mathbf{b}_{ij} = \mathbf{e}_{ij}^{\circ \text{vp}}$$

Zur Ableitung der Konstitutivgleichungen wird die Existenz eines Kriechpotentials der Form

$$F = 0.5 S_V^2 \quad (2)$$

vorausgesetzt. Ähnlich dem plastischen Potential wird es aus dem Prinzip der größten spezifischen Dissipationsleistung abgeleitet. Demnach gilt auch hier die Normalenregel

$$\mathbf{e}_{ij}^{\circ \text{vp}} = \mu^{\circ} \frac{\partial F}{\partial \mathbf{S}_{ij}} \quad (3)$$

μ° - skalarer Multiplikator

In (2) entspricht S_V einer Vergleichsspannung die sich im allgemeinsten Fall aus

$$S_V = \alpha S + S_0 + \beta S_I \quad (4)$$

zusammensetzt.

Dabei wurden folgende Abkürzungen gewählt:

$$\begin{aligned} \mathbf{S} &= b_{ij} S_{ij} \\ S_0^2 &= a_{ijkl} S_{ij} S_{kl} \\ S_1^3 &= c_{ijklmn} S_{ij} S_{kl} S_{mn} \end{aligned} \quad (5)$$

b_{ij} , a_{ijkl} , c_{ijklmn} sind Materialtensoren 2., 4. und 6. Stufe. α und β sind skalare Gewichte für die ungeraden Spannungsinvarianten. Durch Einsetzen von (4), (5) in die Fließregel (3) ergibt sich für den Tensor der viskoplastischen Dehnungsgeschwindigkeiten

$$\dot{\mathbf{e}}^{vp} = \mu^0 S_V \left(\frac{\partial F}{\partial S_{ij}} + \frac{\partial F}{\partial S_{ij}} + \frac{\partial F}{\partial S_{ij}} \right) \quad (6)$$

$$\dot{\mathbf{e}}^{vp} = S_V \left(b_{ij} + a_{ijkl} S_{kl} / S_0 + c_{ijklmn} S_{kl} S_{mn} / S_1^2 \right) \quad (7)$$

Multipliziert man die Gleichung (7) mit dem Spannungstensor S_{ij} erhält man die spezifische Dissipationsleistung

$$L = S_{ij} \dot{\mathbf{e}}^{vp}_{ij} = \mu^0 S_V^2 \quad (8)$$

Die Bestimmung der skalaren Größe μ^0 erfolgt aus der Äquivalenz der Gleichung (8) und einem einachsigen Vergleichszustand

$$L = S_e \dot{\mathbf{e}}^{vp} \quad (9)$$

Wird für den einachsigen Zustand das Norton-Baileysche Kriechgesetz

$$\dot{\mathbf{e}}^{vp} = K S_e^n \quad (10)$$

in (9) eingesetzt erhält man für μ^0 den Ausdruck

$$\mu^0 = K S_V^{n-1} \quad (11)$$

und somit für den viskoplastischen Dehnungsgeschwindigkeitstensor

$$\dot{\mathbf{e}}^{vp} = K S_V^n \left(b_{ij} + a_{ijkl} S_{kl} / S_0 + c_{ijklmn} S_{kl} S_{mn} / S_1^2 \right) \quad (12)$$

3.2 Das ROBINSON - Modell

Das ROBINSON - Materialmodell ist ein komplexes Gesetz zur Beschreibung viskoplastischer Vorgänge. Es hat in seinem Aufbau große Ähnlichkeit mit den in der Fließtheorie der Elastoplastizität verwendeten Materialgesetzen. Mit diesem phänomenologischen Gesetz können Be- und Entlastungsvorgänge berücksichtigt werden.

Annahme :

- kleine Verschiebungen und Dehnungen

$$\mathbf{e}^o = \mathbf{e}^e + \mathbf{e}^{vp} \quad (13)$$

$$\mathbf{e}^o = f(J_2(\Pi), k, T) \Pi \quad (14)$$

$$\Pi = SS - a \quad (15)$$

$$SS = S - 1/3 * \text{tr}(S) \quad (16)$$

Entwicklungsgesetz für kinematische Verfestigung

$$\mathbf{a}^o = h(SS, a, k, e^p, e^{vp}, T) \mathbf{e}^{vp} - r(SS, a, k, e^p, e^{vp}, T) \mathbf{a} \quad (17)$$

$$e^{vp} = \sqrt{4/3} * J_2(\mathbf{e}^{vp}) \quad (18)$$

Im ROBINSON-Modell gilt

$$h = h(J_2(a)) \quad (19)$$

$$r = r(J_2(a), T) \quad (20)$$

$$K = k^2 \quad (21)$$

$$K^o = G(W^p) W^p + O(W^p) T^o \quad (22)$$

$$W^p = S : \mathbf{e}^{vp} \quad (23)$$

$$\mathbf{e}^{vp} = \begin{cases} \left(\frac{J_2(\Pi)}{K} - 1 \right)^2 * \frac{\Pi}{\sqrt{J_2(\Pi)}} \\ 0 \end{cases} \quad \begin{matrix} J_2(\Pi) > K \\ SS:\Pi > 0 \end{matrix} \quad (24)$$

3. Die Finite-Element-Analyse

Die Implementierung der Materialgesetze in COSAR erfolgt auf der Grundlage der in Gleichung (1) dargestellten Standardformulierung. Damit wird eine relativ hohe Variabilität in der Möglichkeit des Austausches von Materialgesetzen bei geringen Aufwand erreicht.

Die Berechnungsstrategie für die Viskoplastizität sieht als erstes die Lösung des Randwertproblem und dann die des Anfangswertproblem vor. Zur numerischen Zeitintegration des entstehenden Differentialgleichungssystems 1. Ordnung der Form

$$\begin{aligned} \mathbf{y}^o &= \mathbf{g}[\mathbf{y}(t), t] \\ \mathbf{y}(t_0) &= \mathbf{y}_0 \end{aligned} \quad (25)$$

wird der folgende Lösungsansatz (GMR-Generalized Midpoint Rule) verwendet :

$$\begin{aligned} y^{(i+\Delta t)} &= y^{(i)} + \Delta t * g(y^{(i+\tau\Delta t)}, t+\tau\Delta t) \\ y^{(i+\tau\Delta t)} &= (1-\tau)y^{(i)} + \tau y^{(i+\Delta t)} \end{aligned} \quad (26)$$

Für $\tau = 0$ entsteht das explizite Euler - Verfahren, für $\tau = 0.5$ - Mittelpunktregel und für $\tau > 0.5$ - ein implizite Verfahren mit stabilen Integrationseigenschaften. Zur Lösung des impliziten Problems wird die Funktion

$$\rho = y^i - y^{(i+\Delta t)} + \Delta t * g(y^{(i+\tau\Delta t)}, t+\tau\Delta t) \quad (27)$$

in eine Taylorreihe entwickelt :

$$\rho + \frac{\partial \rho}{\partial y} dy = 0 \quad (28)$$

Aus Gleichung (28) ergibt sich ein nichtlineares algebraisches Gleichungssystem

$$\begin{aligned} (i) \left(I - \tau \Delta t \left(\frac{\partial g}{\partial y} \right)^{(i+\tau\Delta t)} \right) dy &= (i)R \\ (i)R &= \Delta t * g(y^{(i+\tau\Delta t)}, t+\tau\Delta t) - (i) \Delta y, \end{aligned} \quad (29)$$

welches iterativ gelöst werden muß (z. B. Newton - Verfahren). Der Zuwachs in einem Schritt berechnet sich aus

$$(i+1) \Delta y = (i) \Delta y + dy \quad (31)$$

Diese Iteration wird solange fortgesetzt bis

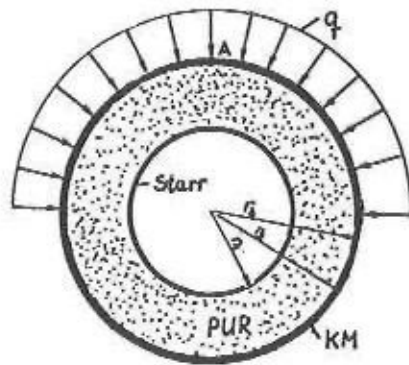
$$|(i)R| \leq \text{tol} \quad (32)$$

ist.

4. Berechnungsbeispiele

4.1 Kunststoffmantelrohr unter radialer Druckbelastung

Im Bild 1 ist der prinzipielle Aufbau eines Kunststoffmantelrohres (KMR) dargestellt. Die in diesen Rohren verwendeten PUR - Schäume neigen unter mechanischen Beanspruchungen und Temperaturbelastungen zum Materialkriechen. Mit dem Programmsystem COSAR wurden, unter Verwendung eines Exponentialgesetzes für die nichtlineare Dehnungsgeschwindigkeit (NORTON - Gesetz), Langzeituntersuchungen über das Verformungsverhalten unter radialer Belastung durchgeführt und mit vorliegenden Meßreihen verglichen. Die Bilder 3 und 4 zeigen in den Diagrammen die experimentellen Ergebnisse im Vergleich zu den numerisch ermittelten Größen. Dargestellt ist die x_2 - Verschiebung des im Bild 2 markierten Punktes als gestrichelte Linie.



gegebene Größen:

$$r_1 = 44.45 \text{ mm}$$

$$r_2 = 77.10 \text{ mm}$$

$$r_3 = 80.00 \text{ mm}$$

$$E_{KM} = 800 \text{ N/mm}^2$$

$$\mu_{KM} = 0.38$$

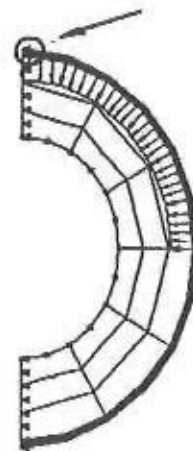


Bild 1 Schnittbild Kunststoffmantelrohr

Bild 2 FEM - Vernetzung

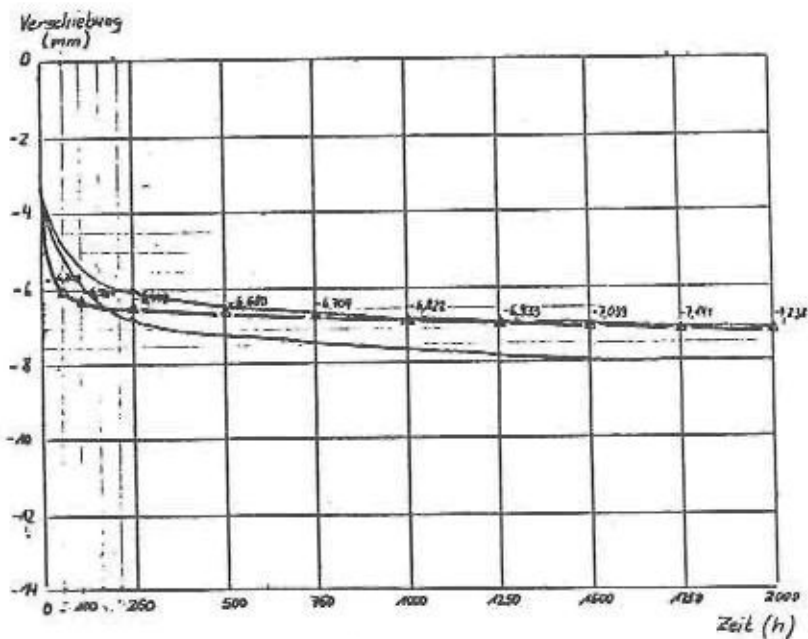


Bild 3 Verschiebungs-Zeit-Verlauf f. verfestigendes Materialverhalten bei $T=160 \text{ }^{\circ}\text{C}$ und $q=1.0 \text{ N/mm}^2$

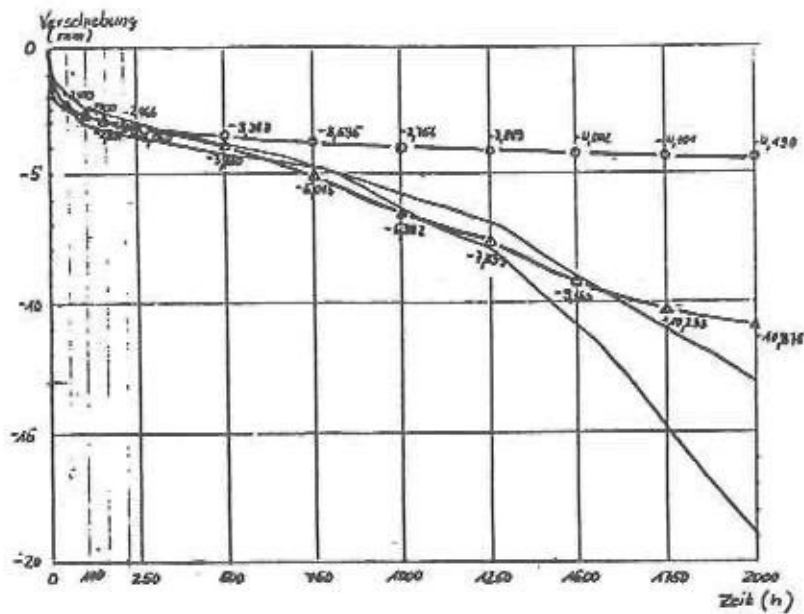


Bild 4 Verschiebungs - Zeit - Verlauf für entfestigendes Materialverhalten

4.2 Zylinderschale unter Außendruck

Zur Berechnung wurde das unter Abschnitt 3.1 vorgestellte verallgemeinerte Deformationsgesetz für eine numerische Berechnung verwendet.

Die Zylinderschale unter Außendruck wurde als rotationssymmetrisches Bauteil modelliert. Als Elemente werden isoparametrische 8-Knoten-Viereckelemente verwendet (Bild 5). In der Gleichung für die Vergleichsspannung (4) wurde $\beta = 0$ angenommen. Weiterhin wird isotropes Materialverhalten vorausgesetzt.

Eingabedaten

Geometrie :

$$l = 200 \text{ mm}$$

$$r = 200 \text{ mm}$$

$$h = 10 \text{ mm}$$

Belastung : $q = 5 \text{ N/mm}^2$

Elastizitätswerte :

$$E = 6 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$$

$$\nu = 0.35$$

Randbedingungen : Einseitig eingespannte Schale

Materialparameter :

Abkürzung: $r = 1/(1+n)$

$$a_{1111}=a_{2222}=a_{3333}=1.0258 \times 10^{-5} \text{ (N/mm}^2\text{)}^{-2\pi} \cdot h^{-2\pi}$$

$$a_{1212}=a_{1313}=a_{2323}=9.2908 \times 10^{-6} \text{ (N/mm}^2\text{)} \cdot 2\pi r \cdot h^{-2r}$$

$$a_{1122}=a_{1133}=a_{2233}=-8.3233 \times 10^{-6} \text{ (N/mm}^2\text{)} \cdot 2\pi r \cdot h \cdot 2r$$

$$b_{11} = b_{22} = b_{33} = 1.2345 \cdot 10^{-4} \text{ (N/mm}^2\text{)} \cdot \text{m} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$n = 8$$

$$k = 1$$

Integrationszeitraum : $[0\text{h}, 2 \cdot 10^3\text{ h}]$

In den Bildern 5 und 6 sind die radialen und axialen Verschiebungen der Schalenmittelfläche zu den Zeitpunkten $t = 0 \text{ h}$ und $t = 2 \cdot 10^3 \text{ h}$ dargestellt.

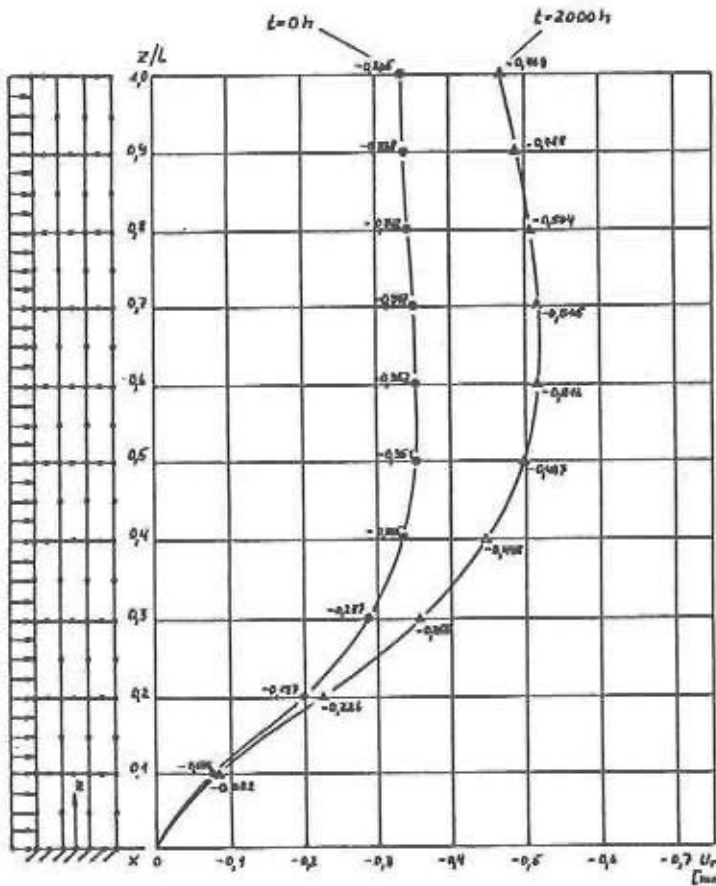


Bild 5 Radiale Verschiebung der Schalenmittelfl.

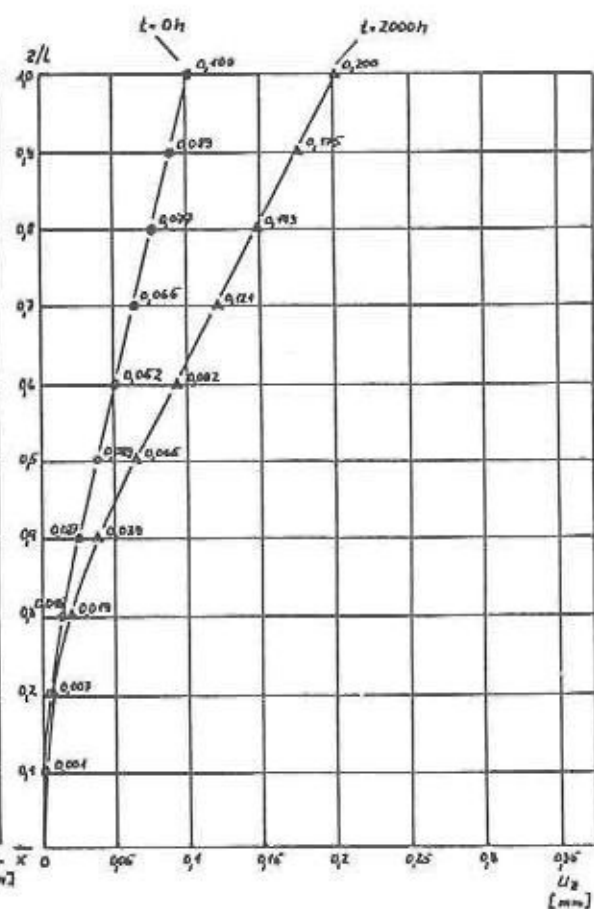


Bild 6 Axiale Verschiebung der Schalenmittelfl.

Literatur:

- /1/ H. Bergander,
Verallgemeinerte Darstellung inelastischer Deformationsgesetze zur Erleichterung der numerischen Lösung des Anfangs-Randwert-problems, ZAMM 58 (1978), S. 489-499
- /2/ J. Betten,
Zur Aufstellung von Stoffgleichungen in der Kriechmechanik anisotroper Körper, Rheologica acta Vol. 20 (1981) Nr. 6
- /3/ H. Köppe, W. Lenz, J. Altenbach,
Die Erweiterung des PS COSAR auf die Lösung nichtlinearer Probleme der Festkörpermechanik, Technische Mechanik 10 (1989)
- /4/ H. Köppe, H. Altenbach
Die Verwendung eines verallgemeinerten Deformationsgesetzes zur numerischen Lösung viskoplastischer Probleme, IX. Symposium Verformung und Bruch Magdeburg 1991, Posterbeiträge
- /5/ H. Altenbach, M. Dankert, A. Zolochovsky
Anisotrope mathematisch - mechanische Modelle für Werkstoffe mit von der Belastung abhängigen Eigenschaften, Technische Mechanik 11 (1990) Heft 1, S. 5-13
- /6/ K. Hornberger, H. Stamm
An implicit integration algorithm with a projection method for viscoplastic constitutive equation, International journal f. num. meth. in engineering, Vol. 28, 2397-2421 (1989)

Referenzliste von COSAR-Anwendern (Auswahl)



Institution/Betrieb

Fachsysteme

Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V. (AGFW) bei der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke, Frankfurt/Main	E, P, T, C
Kroll Fahrzeugbau- und Umwelttechnik GmbH, Hamburg- Reinbeck	E, C
Institut f. Bioprozeß- u. Analysemeßtechnik, Heiligenstadt	E, T, P
AEG -Schienenfahrzeugbau Henningsdorf GmbH	E
ATLAS Weyhausen GmbH, Delmenhorst	E, T, C
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig	E
ALUSINGEN GmbH, Singen/Hohentwiel	E, D, T, C
Fluid-Ingenieurtechnik GmbH, Halle	E, D, T, C
Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e.V., Frankfurt/Main	E, D, T
TAKRAF GmbH, Leipzig	E
MIKROMAT Werkzeugmaschinen GmbH, Dresden	E, D, T
Werkzeugmaschinenfabrik Magdeburg GmbH	E
SKET AG, Magdeburg	E, D, T
R.O.M.-Zentrale, Hamburg	T
MAW AG, Magdeburg	E, T, S
E.Günther, VBI, Hannover	E, D
NUMATEC GmbH, Heidesheim	E, D, T, P
Dieselmotorenwerk Rostock GmbH	T
PERFECTA Schneidmaschinen GmbH Bautzen	E, C
SKL Motoren- und Systemtechnik AG, Magdeburg	E, D, T, P
Hemscheid Maschinenbau, Schwerin	E, D, T, C
Schwermaschinenbau AG, Wildau	E, D, T
Leuna-Werke AG	E, D, T
Umformtechnik Erfurt GmbH	E
ITA spol. s.r.o., Ostrava (CSFR)	E, D, T, P
Chemieanlagenbau Staßfurt	E, P, C

Uni. Hamburg	E, D, T, P
TU Dresden	E, D, T
TU Chemnitz	E, D, T
Otto von Guericke Universität Magdeburg (mehrere Institute)	E, D, T, P, C, B
Uni. Rostock	E
TFH Berlin	E, D, T, N
Uni. Hannover	E, D, T, P, C
Hochschule f. Wirtschaft, Technik u. Kultur Leipzig (FH)	E, C
Humboldt-Univ. Berlin	E, D,
TH Ilmenau	E, D, T
FH Merseburg	E, D, T, P, C
FH Flensburg	E, D, T, P, C
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg	E, D, T, C

RAPPORTFÖRTECKNING

Samtliga rapporter kan beställas hos Energikontorets Förlagsservice.

Telefon: 08 - 677 26 00

Telefax: 08 - 677 26 05

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
	FVFs FÖRTECKNING ÖVER FORSKNING OCH UTVECKLINGSRAPPORTER		
1	Inventering av skador på befintliga skarvar med CFC-blåsta respektive CFC-fria fogskum	Hans Torstensson	maj-96
2	Tryckväxlare - Status hösten 1995	Bror-Arne Gustafson Lena Olsson	maj-96
3	Bevakning av internationell fjärrvärmeforskning	Sture Andersson Gunnar Nilsson	maj-96

Förteckning över tidigare publicerade rapporter från Värmeforsk Hetvattenteknik som kan beställas hos Energikontorets Förlagsservice.

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
	DISTRIBUTIONSTEKNIK		
540	Expansionskuddar för direktförlagda fjärrvärmeledningar - med huvudinriktning på mineralullsprodukter	Sture Andersson Bjarni Jensson	jun-95
525	Rundgångars ekonomiska betydelse för fjärrvärmenäten Investerings-, drift- och underhållskostnader	Peter Herbert	feb-95
463	Sänkt drifttemperatur i fjärrvärmenät - fältmätningar och bestämningar av fysikaliska egenskaper för cellbetong	Jan Molin Ronny Nilsson	dec-92
450	Utveckling av metoder för kvalitetssäkring av mantelrörsskarvar	Lars-Åke Cronholm Rolf Westin	jul-92
446	Bärförmåga hos CFC-fri kulvertisolering vid drifttemperatur Del 1: Provningsmetod för bestämning av axiell skjuvhållfasthet hos kulvertör Del 2: Krypning vid radiell tryckbelastning	Ulf Jarfelt Gunnar Bergström Jonas Karlsson	jul-92
445	Dirrektläggning av fjärrvärmerör	Jan Fallsvik Alf Lindmark Eva Pettersson	jul-92
429	Freonfria isolermaterial för fjärrvärmekulvertar. Vacuumpulverisolering och CO ₂ -blåst polyuretanskum	Bert Oddving Heimo Zinko	maj-92

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
412	Läcksökning i fjärrvärmekulvertar	Heinz Thurner	dec-91
364	Underhållsstrategi för distributionsnät. Förstudie	Lennart Strömwall Leif Lemmeke	mar-90
340	Corona-behandlingens betydelse för mantelrör till fjärrvärmeledningar samt metod och krav för kvalitetskontroll	Lars-Eric Jansson	maj-89
335	Anvisningar för schaktning och andra arbeten i närheten av direktskummande PUR-kulvertar	Håkan Carlsson Jan Molin	apr-89
318	Sänkt drifttemperatur i fjärrvärmenät - konsekvenser i distributionsnät	Jan Molin Ronny Nilsson Helge Bergström	okt-88
315	Skumkvalitet vid låga omgivningstemperaturer och varierande mediarörtemperaturer	Johan Ljungqvist	okt-88
286	Larmsystem - Kompatibilitet	Christer Bodin John Ljungqvist Tor Rundström	dec-87
260	Skumkvalitet vid låga omgivningstemperaturer	Lars Blomqvist John Lungqvist	mar-87
259	Kvalitetsprovning av PUR-skumisolering	John Ljungqvist Rolf Westin	mar-87
258	Spänningsanalys av fjärrvärmeledningar Del 3. Dimensioneringsanvisningar och dimensioneringsprogram för T-stycken	Sture Andersson Håkan Carlsson Jan Molin	mar-87
257	Skador på mantelrörskarvar	John Ljungqvist Bert Oddving Rolf Westin	mar-87
256	Markförlagda fjärrvärmeledningars temperaturhöjande effekt för intilliggande ledningar	Håkan Carlsson Jan Molin	mar-87
249	Metod för röntgenradiografering av isolerskikt i kulvertar för fjärrvärmeledningar	Stig Dahn	feb-87
237	Underhållsplanering av fjärrvärmenät	Thomas Asp Anders Eriksson Håkan Danielsson Stig Hård Bertil Wiktorén	aug-86
226	Skumutfyllnad i kulvertskarvar	Lars Blomqvist John Ljungqvist	maj-86
201	Friktionsfixerade fjärrvärmeledningar. Fältmätningar i Lund. Del 2	Dan Olofsson Jan Molin Kurt Bergendorff	aug-85

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
FJÄRRVÄRMECENTRALTEKNIK			
556	VÄRMEVÄXLARRENOVERING - Materialpåverkan vid kemisk rengöring av värmeväxlare	Lars-Åke Cronholm	dec-95
546	Försmutningsförlopp i plattvärmeväxlare för fjärrvärmeabonnentcentraler	Janusz Wollerstrand Svend Frederiksen	aug-95
545	Funktions- och kvalitetsprovning av abonnentcentraler i fjärrvärmesystem	Håkan Wallethun Peter Gummérus	aug-95
505	Prestandabestämning och förbättring av abonnentcentraler < 50 kW	Lena Råberger Peter Gummérus Håkan Wallethun	apr-94
413	Skadinverntering, Abonnentcentraler	Bo Östlund	dec-91
411	Inverkan på returtemperaturen vid ackumulering av tappvarmvatten i abonnentcentraler	Sture Sikström	dec-91
365	Dynamisk provning av värmeväxlare med hjälp av processidentifiering	Håkan Wallethun Bengt-Göran Bergdahl Bert Oddving	mar-90
360	Laboratorieprovning av villaabonnentcentraler	Johan Winberg	dec-89
355	Fjärranalys av undercentraler	Joakim Marklund	okt-89
321	Undercentralers reglering	Michael Thiede	okt-88
302	Diagnostikutrustning för 2-stegskopplade abonnentcentraler	Ulf Jansson	apr-88
272	Avkylning av fjärrvärmevatten i befintliga abonnentcentraler	Annika Winberg Sven Werner	aug-87
267	Undercentraler - Litteraturstudie av tidigare arbeten	Raija Leppänen	maj-87
255	Inkoppling av varmvattenberedare vid installation av värmepump	Göran Dahlén	mar-87
MÄTTEKNIK			
547	Jämförelsemätningar av flödeshastighet mellan ultraljudsmätare av Clamp-On typ och debiteringsmätare i fjärrvärmeabonnentcentraler	Jerker Delsing Bernt Svensson	aug-95
SYSTEMTEKNIK			
534	Utvärdering av fjärrkyla i Västerås	Lars Lindgren Urban Eklund	feb-95
527	Friktnionsnedsättande tillsatserns inverkan på miljön - Del I	Henrik Bjurström Staffan Grönholm Bengt-Åke Nystrand	feb-95

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
512	Friktnionsnedsättning i fjärrvärmenät genom tillsats av tensider- En teknisk och ekonomisk bedömning	Henrik Bjurström Lars-Åke Cronholm	jul-94
481	Tryckväxlare - en anordning för effektivisering av fjärrvärmesystem	Bror-Arne Gustafson	sep-93
363	Leveranssäkerhet i fjärrvärmesystem	Sture Andersson Carl Mattsson	dec-89
320	Leveranssäkerhet vid värmedistribution	Lennart Josefsson Hans Åkesson	okt-88
298	Inventering av datorprogram för simulering och optimering av fjärrvärmesystem	Hans Gransell Anders Östergren	mar-88

RAPPORTER FRÅN ANDRA FORSKNINGSGRUPPER

483	Korrosion hos emaljerade ytor i varmvattensystem	Britt-Marie Svensson	sep-95
380	Korrosionsstudier av emaljerade varmvattenberedare	Britt-Marie Svensson	nov-90
343	Färgämne för läckageindikering i fjärrvärmesystem	Torsten Bauer Björn Carlsson Folke Persson	jul-89
294	Akkumulatorsystem för driftutjämning	Bertil Köhler	mar-88
221	Säkerhet vid elpannedrift	Bertil Köhler	apr-86

ka Fjärrvärmeföreningens Service AB och NUTEK
ver ett kollektivforskningsprogram inom området
tenteknik. Forsknings- och utvecklingsprogrammet
teras på distributionsteknik, fjärrvärmecentralteknik
ystemteknik.

ENSKA FJÄRRVÄRMEFÖRENINGENS SERVICE AB

101 53 STOCKHOLM

Besöksadress: Olof Palmes gata 31, 6 tr

Telefon 08 - 677 25 50, Telefax 08 - 677 25 55

Förlagsservice, beställning av trycksaker:

Telefon 08 - 677 26 00, Telefax 08 - 677 26 05