

KOMPENSATORER

KONSTRUKTION, INBYGGNAD, SKADOR



Rapport | 2006:3

KOMPENSATORER

KONSTRUKTION, INBYGGNAD, SKADOR

Rapport | 2006:3

ISSN 1401-9264
© 2006 Svensk Fjärrvärme AB
Art nr 06-12

Sammanfattning

I början av rapporten beskrivs kompensatorns användningsområden och arbetsuppgifter. Vidare redogörs för de förekommande fabrikaten i befintliga, svenska fjärrvärmenät och beskrivs olika typer; exempelvis axial-, universal- och kullänkkompensatorer.

Insvetsning av bälg är ett avgörande moment vid tillverkningen av kompensatorer. Momentet avbildas i detalj för de olika fabrikaten.

För att en kompensator ska fungera tillfredsställande krävs att den omges av styrningar och att uppkomna axialkrafter tas om hand i fix med lämplig design. I rapporten skildras olika konstruktioner av styrningar och fixar i olika kulverttyper. Det varnas också – ”dödskallemärkning” – för lösningar där det inte finns någon fix mellan kompensator och böj.

Förinställningen av kompensatorn är också av vikt för livslängden. Insvetsning av ny kompensator och utbyte av befintlig exemplifieras med beräkningar, bilder och i kompensatordiagram.

Vidare formuleras fixkrafter på slut- och mellanfixar, bälgens fjäderkraft, den dynamiska kraften i rörriktningen och uppträdande friktionskrafter samt återges ett utmattningsdiagram.

Skador och skadeorsaker har tillmätts stort utrymme i rapporten.

Inledningsvis lämnas meningar om skador i allmänhet, därefter redovisas i detalj tillgänglig statistik från Svensk Fjärrvärme och från Malmö. Sen följer en beskrivning av olika bälgmaterial och deras tålighet mot spänningskorrosion. I avsnittet *Skadeorsaker* analyseras statistiken vidare och tillsammans med resonemang kring olika scenarier byggs en form av slutsats upp, dels om den mest gynnsamma miljön för att maximal korrosionshastighet ska uppnås, dels om det mest skadedrabbade fabrikatet och varför det är det.

I slutordet jämförs kompensatorer med lyror och det antyds, såväl i text som i trenddiagram, att kompensatorn kanske inte utgör den stora strategiska fara som branschen fruktat. Man kanske till och med skulle kunna använda kompensatorer i större omfattning än idag.

Därmed inte sagt att man ska tumma på beredskapen för kompensatorhaverier, om inte för sannolikhetens skull så för konsekvensernas.

Innehållsförteckning

1.	Inledning	7
1.1.	Förord	7
1.2.	Syfte	7
1.3.	Tillvägagångssätt.....	8
2.	Användningsområde	9
2.1.	Olika ledningssystem	9
2.2.	Kompensatorns arbetsuppgifter	9
3.	Förekommande typer	10
3.1.	Fabrikat	10
3.2.	Material	10
3.3.	Konstruktion i allmänhet.....	10
3.3.1.	Axialkompensator	11
3.3.2.	Axialkompensator med trycksatt yttersida	11
3.3.3.	Universalkompensator	12
3.3.4.	Kullänkkompensator	12
3.3.5.	Vinkellänkkompensator	12
3.3.6.	Kardanlänkkompensator	13
3.3.7.	Startkompensator (engångskompensator).....	13
3.3.8.	Tryckavlastade kompensator	13
3.4.	Konstruktion i synnerhet – insvetsning av bälg	14
3.4.1.	BOA-kompensatorn	14
3.4.2.	IWK-kompensatorn	15
3.4.3.	Teddington-kompensatorn	15
3.4.4.	Vokes-kompensatorn	16
3.4.5.	Belman-kompensatorn.....	16
4.	Inbyggnad	17
4.1.	Fixar, styrningar och upplag.....	17
4.1.1.	Betongkulvert	17
4.1.2.	Eternitkulvert	19
4.1.3.	Fasta fjärrvärmerör	20
4.1.4.	”Dödskallemärkt” lösning	20
4.2.	Kompensatordiagram	21
4.3.	Exempel på insvetsning av kompensator	22
4.3.1.	Förutsättningar, beräkningar och konstruktion av kompensatordiagram	22
4.3.2.	Nybyggnad	23
4.3.3.	Utbyte.....	23

5.	Krafter, rörelser och utmattning	25
6.	Skador	28
6.1.	Allmänt	28
6.2.	Skadestatistik Sverige	29
6.3.	Skadestatistik Malmö.....	31
6.4.	Material	34
6.5.	Skadeorsaker	35
6.5.1.	Misstag.....	35
6.5.2.	Isolering	35
6.5.3.	Ytterligare orsaker.....	36
7.	Slutord.....	39

1. Inledning

1.1. Förord

ÅF-Process AB fick sommaren 2005, på initiativ av Rolf Jacobsson E.ON Värme Sverige och Ture Nordenswan Svensk Fjärrvärme, i uppdrag av dess dåvarande Distributionskommitté att göra en utredning om kompensatorer i fjärrvärmenät och återge resultatet i en rapport.

Distributionskommittén ser kompensatorer som de känsligaste strategiska punkterna i gamla betongkulvertar som ju har de största dimensionerna, är äldst och avgörande för leveranssäkerheten.

Utredningen ska belysa kompensatorns användningsområden, förekommande fabrikat, material och konstruktioner, inbyggnadsmetoder, krafter och rörelser, skadeorsaker samt fördelar och nackdelar med kompensatorn. Underhållsfrågan detaljstuderas inte i denna utredning.

Utredningen är finansierad av Svensk Fjärrvärme, E.ON Värme Sverige, Fortum Värme, Göteborg Energi och Öresundskraft.

1.2. Syfte

En stor del av den personal som en gång byggde in kompensatorer och som från idrifttagandet svarade för drift och underhåll har fallit för åldersstrecket och ersatts med en ny generation med begränsad kunskap om det som de har att förvalta.

Syftet med utredningen är först och främst att överföra kunskap om kompensatorer till denna nya generation. Då det numera hör till ovanligheten att bygga in nya kompensatorer i fjärrvärmenät är ambitionen med rapporten att den även ska fungera som en uppdatering för den äldre personalen.

Rapporten ska i första hand vända sig till personer som arbetar med planering och verkställande av nätunderhåll, men också till planerare och projektörer av nya fjärrvärmeledningarna.

1.3. Tillvägagångssätt

Rapporten har byggts upp på litteraturstudier, relevanta rapporter samt egna och leverantörers erfarenheter. Bl a har Leif Persson, teknisk chef vid Nordic Bellows AB och med 30 års erfarenhet av kompensatorer i fjärrvärmenät, intervjuats. Tillgänglig skadestatistik från Svensk Fjärrvärme och Malmö har bearbetats.

Följande rapporter har studerats:

- ”Kompensatorer” – Svensk Fjärrvärmes tekniska bestämmelse FVF D:204. År 2000.
- ”Fjärrvärme” – Svend Frederiksen (LTH) och Sven Werner (FVB). År 1993.
- ”Skador på kompensatorer” – Arbetsgruppen för skador på kompensatorer, Delrapport 2 och 4. År 1975.
- ”Kompensatorer” – slutrapport från Kompensatorgruppen. Svenska Värmeverksföreningen År 1980.
- ”Kulvertskador 1968-1978” samt ”Kulvertskadestatistik” – Svenska Värmeverksföreningen
- ”Projekthandbok fjärrvärme” – Ångpanneföreningen. År 1976
- ”System Design Procedure” – Teddington. Från websida. År 2005
- ”Lögstör Projektering” – Lögstör. Från websida. År 2005
- ”Strategi för underhåll av Malmö/Burlöv fjärrvärmenät på tio års sikt” – Tommy Gudmundson och Lars Persson (ÅF-Process). År 2005.
- ”Expansionsupptagning i fjärrvärmeledningar – axialkompensatorer eller lyror eller bådadera?” – Sture Andersson (Malmö Energiverk) och Dan Olofsson (VBB-Malmö). År 1983.

2. Användningsområde

2.1. Olika ledningssystem

Kompensatorer förekommer inom fjärrvärmeområdet i några olika kulverttyper. Främst används de i betongkulvert och asbestcementkulvert ”Eternitkulvert”, kulvertkonstruktioner där fluidrören kan röra sig fritt i skyddshöljet. Dessa kulverttyper är till sin uppbyggnad att likna vid ”vanliga inomhusrörssystem” som förlagts under mark i någon form av skyddshölje och bestyckas därför med de konstruktionselement som förekommer i inomhusförlagda system.

Ytterligare kulverttyper där kompensatorer förekommer är cellbetong- och glidrörskulvertar samt i fasta fjärrvärmerörssystem. I fasta fjärrvärmerörssystem förekommer både axialkompensatorer och sk start- eller engångskompensatorer.

2.2. Kompensatorns arbetsuppgifter

Kompensatorer sätts in för olika arbetsuppgifter. Den vanligaste uppgiften är att ta hand om axiella rörelser som uppkommer i rörssystemet då rören värms upp eller svalnar av. Kompensatorn ersätter då olika typer av expansionsupptagande element t ex U- och Z-slag samt minskar eller eliminerar behovet av riktningförändringar för att ta upp axialrörelser.

Före kammare kan kompensatorn tillsammans med en fix minska rörens rörelser i kammarväggen och reducera kraftlaster på ventiler. Små rörelser i kammarväggen säkerställer rörgenomföringens funktion. Små krafter på ventiler minskar risken för spindelläckage och säkerställer täthet vid ventilstängning.

Vid fasta fjärrvärmeledningar kan kompensator användas vid kallförläggning samt som startkompensator (engångskompensator) användas för att kunna värmeförspänna systemet med täckta rörgravar.

3. Förekommande typer

3.1. Fabrikat

Vanligt förekommande kompensatorfabrikat i befintliga fjärrvärmenät är:

- Vokes
- Teddington
- BOA
- IWKA
- Belman Production A/S (Nordic Bellows AB)
- KE-Burgman Bredan A/S

Av ovanstående fabrikat har Vokes upphört att tillverka kompensatorer.

3.2. Material

Materialet i rör och anslutningsstutsar utgörs av kolstål, ofta St 35.8, St 37.0 eller RSt 37-2, som är svetsbart mot fjärrvärmefluidröret och i kvalitet motsvarar lägst material enligt Svensk Fjärrvärmes tekniska bestämmelse FVF D:204 ”Kompensatorer”.

Bälgar tillverkas oftast i rostfritt material t ex Werkstoff.-nr 1.4404, 1.4541 eller 1.4571 vilket motsvarar SS2348, SS2337 respektive SS2350. Eventuella innerrör utförs även de i rostfritt material. Det förekommer också att den yttre bälgen utförs i ett material t ex Incoloy, som är okänsligt för klorider.

3.3. Konstruktion i allmänhet

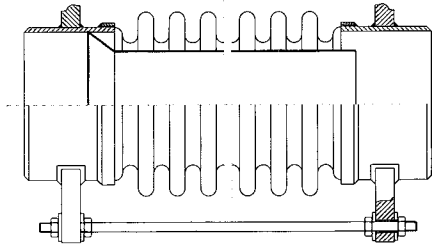
Grundkonstruktionen är två rörstutsar med en mellanliggande veckad bälga som insvetsas i ett rårör. Bälgen kan genom expansion eller kontraktion ta upp rörelser i rörledningen som uppkommer vid temperaturändringar i fluiden och därmed fluidröret.

Veckade bälgar görs oftast i flera tunna skikt (0,4-0,6 mm) av rostfritt material för att öka förmågan till rörelseupptagning och öka hållfastheten.

Kompensatorerna konstrueras och beräknas för 16 bar och 120°C.

Kompensatorernas konstruktion särskiljs genom indelning i ett antal typer som alla har sitt specifika användningsområde. Följande typer är de vanligaste:

3.3.1. Axialkompensator



Axialkompensatorn är den vanligast förekommande typen. Den kan endast ta upp axialkrafter och får inte utsättas för sidokrafter eller vridning runt sin egen axel.

För att säkerställa funktionen krävs rörstyrningar på båda sidor om kompensatorn. Denna kompensator typ ger upphov till ansevära axialkrafter i röret. Dessa måste avlastas i fixar av något slag. Det är viktigt att dessa fixar dimensioneras på rätt sätt för att kompensatorn ska fungera tillfredsställande.

Det förekommer också att kompensatorerna levereras förspända (till full längd) från fabrik och är då försedda med inbyggda sprängbultar som dras sönder vid första uppvärmningen.

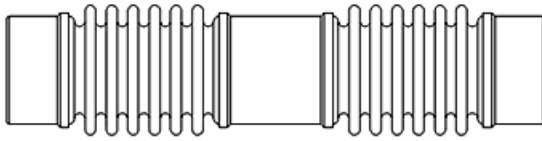
Axialkompensatorn förekommer såväl i betong- och dylika ”öppna” kulvertar som i fasta fjärrvärmerörssystem.

3.3.2. Axialkompensator med trycksatt yttersida



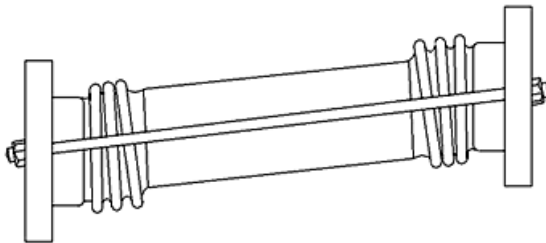
En variant av axialkompensatorn är trycksatt på utsidan av bälgen. Detta medför att längre bälgar med längre slaglängder kan utnyttjas utan risk för instabilitet. En annan fördel är att bälgen är skyddad mot åverkan utifrån tack vare den yttre cylindern.

3.3.3. Universalkompensator



Universalkompensatorn kan ta upp både axial- och sidorörelser samtidigt men tillverkas endast för lägre tryck än de som är aktuella vid fjärrvärmeinstallationer.

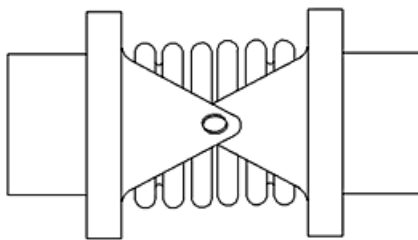
3.3.4. Kullänkkompensator



Kullänkkompensatorn kan ta upp rörelse- och vinkelförändringar i flera plan och finns i utförande med en eller två bälgar.

Anslutningsändarna rör sig alltid oberoende av varandra eftersom stagen är lagrade i sfäriska kulledsbrickor.

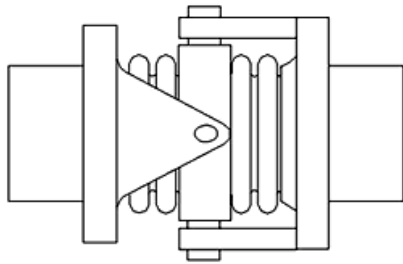
3.3.5. Vinkellänkkompensator



Vinkellänkkompensatorn används för att ta upp rörelser i sidled i förhållande till sin egen längdaxel i ett plan.

Fördelen med denna kompensator typ är att den inte ger upphov till några reaktionskrafter på grund av inre övertryck och är alltså inte heller i behov av fixar för avväxling av axialkrafter.

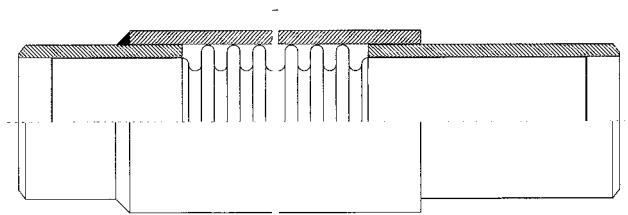
3.3.6. Kardanlänkkompensator



Kardanlänkkompensatorn, en variant på vinkellänkkompensatorn, kan ta upp rörelser i flera plan och används vid komplexa rördragningar.

Den ger i likhet med vinkellänkkompensatorn inte upphov till några reaktionskrafter.

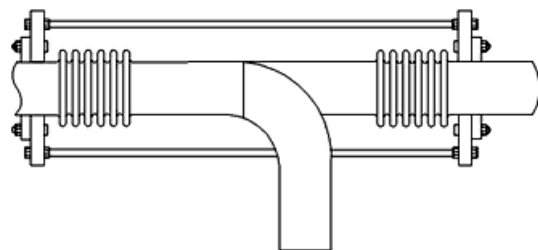
3.3.7. Startkompensator (engångskompensator)



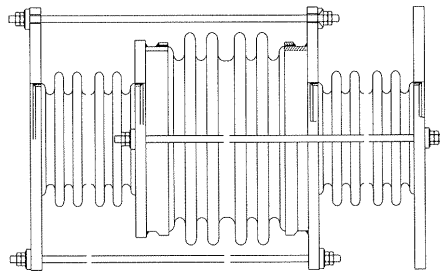
Startkompensatorn är en variant av axialkompensatorn och används i fasta fjärrvärmerörssystem för att möjliggöra värmeförspänning i täckta rörgravar.

Efter förspänning svetsas kompensatorn samman och temperaturen sänks till montagetemperatur varefter kompensatorn isoleras och försluts.

3.3.8. Tryckavlastade kompensator



Tryckavlastad kompensator kan användas i de fall man inte kan ta upp reaktionskrafter p g a inre övertryck i en fix. Den här typen är avsedd att monteras i en rörböj.



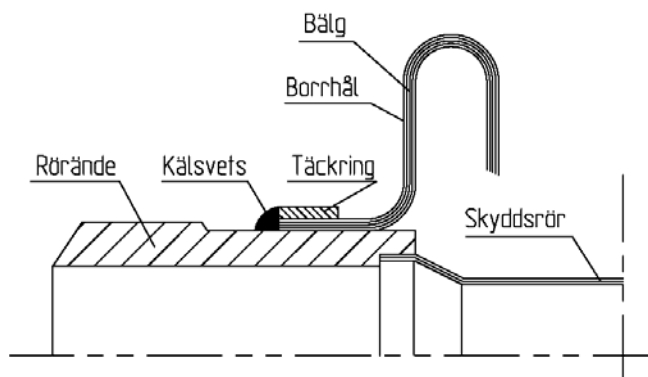
Ytterligare en typ av tryckavlastad kompensator finns, men förekommer ytterst sällan i fjärrvärmesystem. Nackdelen med denna typ är en dyr och komplicerad uppbyggnad med tre bälgar, men fördelen är att den inte ger upphov till några reaktionskrafter av inre övertryck.

3.4. Konstruktion i synnerhet – insvetsning av bälga

Insvetsningen av bälgen mot rörstutsen kan göras på olika sätt beroende på fabrikat, antal plåtar i bälgen o s v. Denna insvetsning är av största betydelse för kompensatorns funktion. Det har visat sig att många kompensatorhaverier kan härledas till en undermålig insvetsning av bälgen.

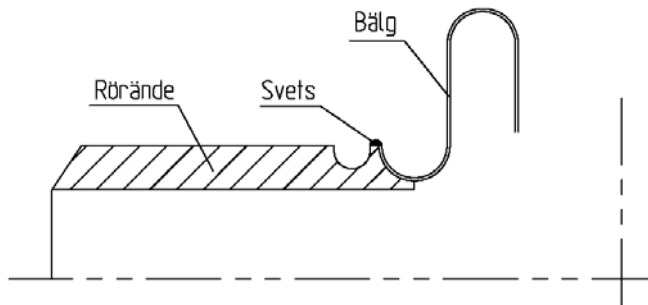
Några olika sätt att lösa insvetsningen visas nedan:

3.4.1. BOA-kompensatorn



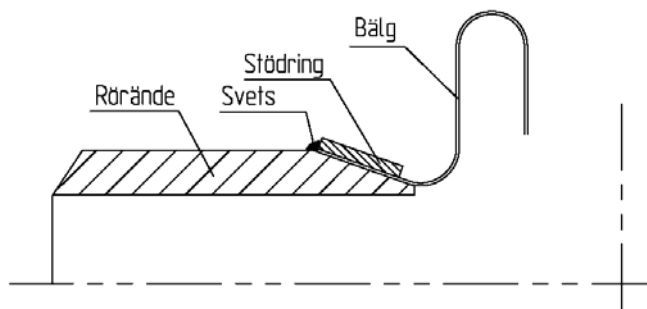
Kompensatorns bälga består i princip av en icke tätande spiral mellan en inre tätande bälga och en yttre bälga. I yttre bälgskiktet finns ett borrhål för kontroll av innerskiktets täthet.

3.4.2. IWK-kompensatorn



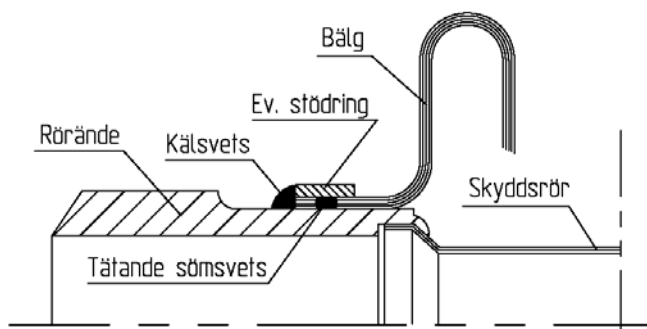
Bälgar tillverkas med både ett och flera skikt beroende på dimension och tryckklass.

Nedan visas en IWK-kompensator av större dimension.



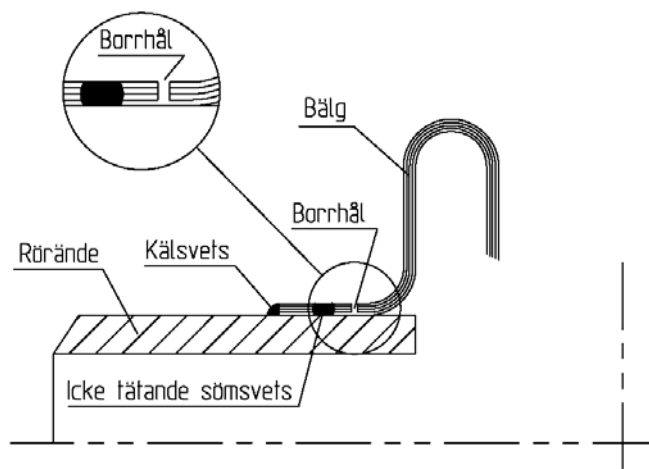
Vid större dimensioner används ofta en konisk stödring.

3.4.3. Teddington-kompensatorn



Teddington använder både tätande sömsvets och kälsvets. Alla bälgens skikt är tätande.

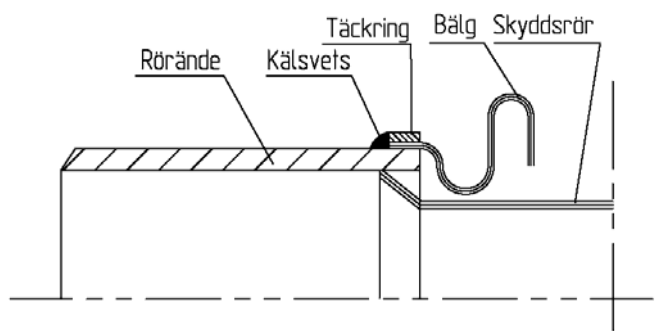
3.4.4. Vokes-kompensatorn



Endast det innersta skiktet är tätande. Ett hål är borrarat genom de yttre skikten för att kunna kontrollera tätheten med gas och ventiler eventuella svetsgaser. Eftertätning av hålet rekommenderades, t ex med Araldit.

Otätthet vid detta hål har ofta gett upphov till inträngning av saltbemängt vatten och därmed spänningskorrosion.

3.4.5. Belman-kompensatorn



Kompensatorn har täckring i rostfritt material som häftsvetsas till yttre bälgskiktet. Samtliga bälgskikt är tätande och svetsas till röränden med tätande kälsvets.

4. Inbyggnad

4.1. Fixar, styrningar och upplag

Om en axialkompensator ska fungera tillfredsställande krävs att den omges av styrningar för att förhindra sidorörelser och att uppkomna axialkrafter tas om hand i en fix med lämplig design. I vissa lägen blir krafterna så stora att man måste söka andra lösningar än en enkel axialkompensator för att ta hand om rörexpansionen.

Det är också viktigt att kompensatorn skyddas mot yttre åverkan såsom vattenbegjutning eller någon form av mekanisk påverkan.

4.1.1. Betongkulvert

Fixen i en betongkulvert består av ett ingjutet balkverk till vilket fluidrören svetsas. Rörerna förstärks med plåt och balkar för att kunna ta upp och fördela krafterna. Styrningar i betongkulvert består av ett ingjutet balkverk som omger rören och bara medger rörelse i axialled hos rören. Det förekommer också pendlar som, när de är styrda i sidled mot kulvertväggarna, fungerar som styrningar och när de inte är styrda fungerar som upplag. Upplag kan också bestå av en underliggande balk. Se bild 1-4 nedan.

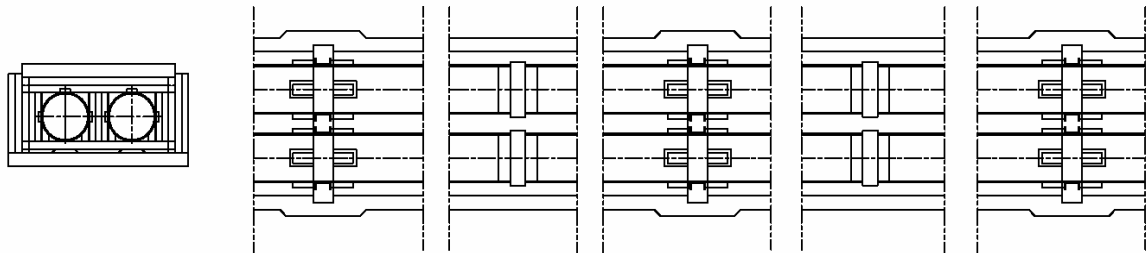


Bild 1. Lätt fix (mellanfix)

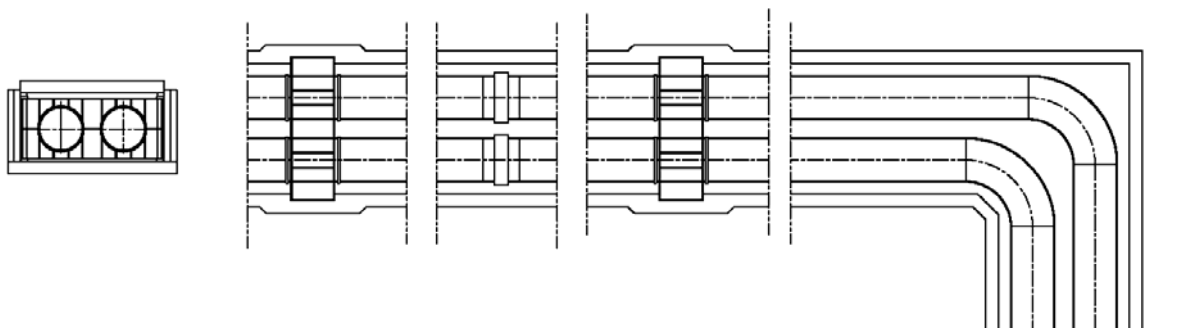


Bild 2. Tung fix (slutfix)

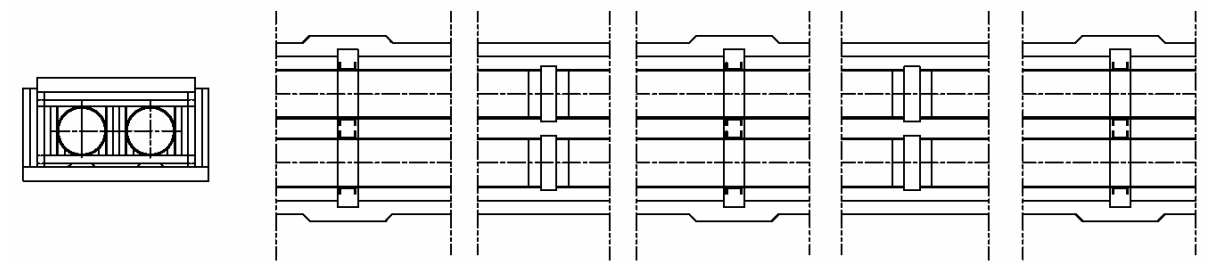


Bild 3. Styrningar – balkverk

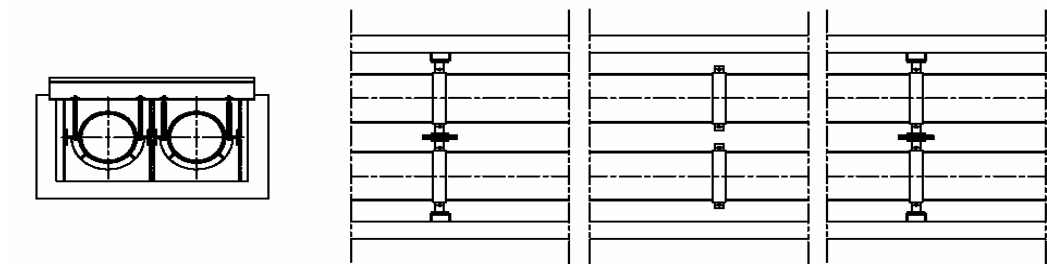


Bild 4. Styrningar – pendlar

4.1.2. Eternitkulvert

I ett eternitkulvertsystem utgörs fixen av ett prefabricerat fixrör som gjuts in i t ex en markförlagd betongkub, i en kulvertvägg eller husvägg. Det finns också prefabricerade böjfixar som gjuts in i en markförlagd betongkub.

Vissa typer av rörstöd är så utformade att de fungerar som styrningar.

Se bild 5 och 6 nedan.

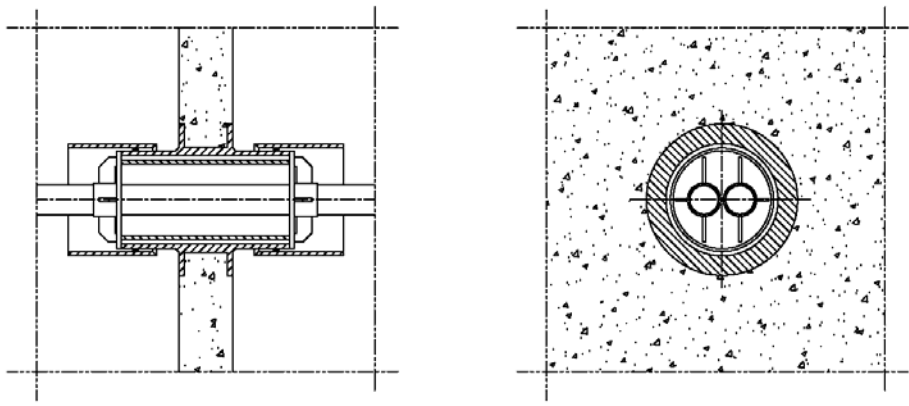


Bild 5. Fix

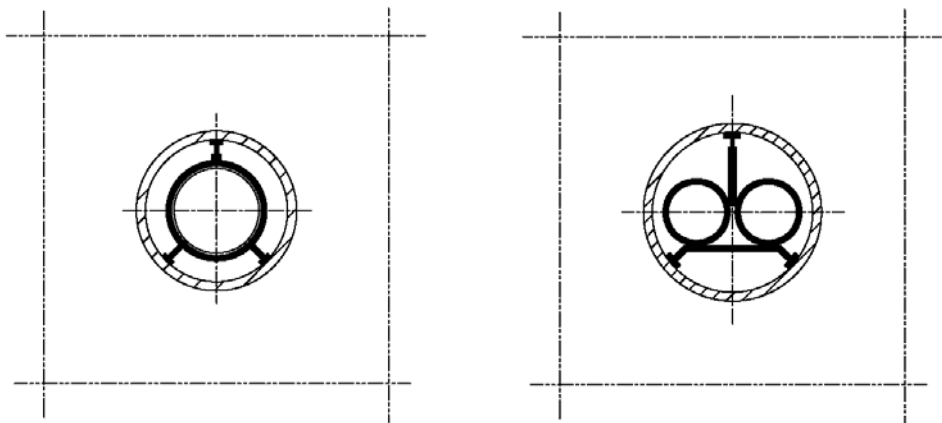


Bild 6. Styrning för enkelrörs- och dubbelrörsutförande

4.1.3. Fasta fjärrvärmerör

För fasta fjärrvärmerör finns prefabricerade fixrör som gjuts in i en betongkonstruktion. Några speciella styrningar används inte utan här fungerar jordförläggningen som styrning.

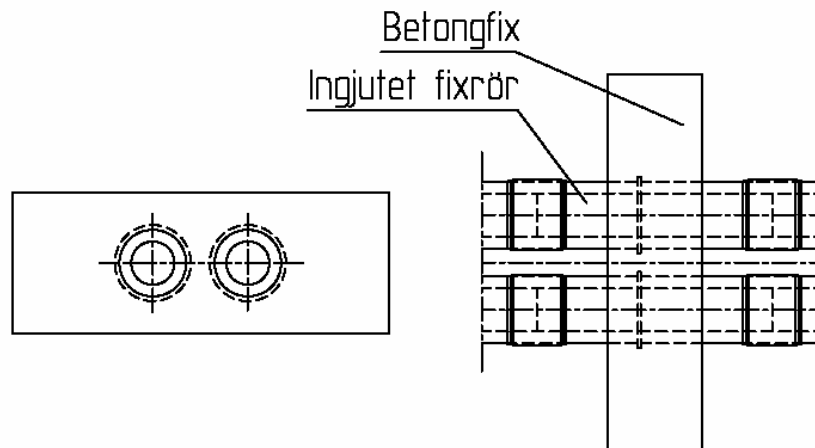


Bild 7. Fix

4.1.4. "Dödskallemärkt" lösning

En lösning som absolut ska undvikas är den som visas nedan, där det inte finns någon fix mellan kompensator och böj. Här kommer samverkan mellan krafter från kompensatorn och böjen ofrånkomligen att leda till lednings- och/eller kompensatorhaveri.

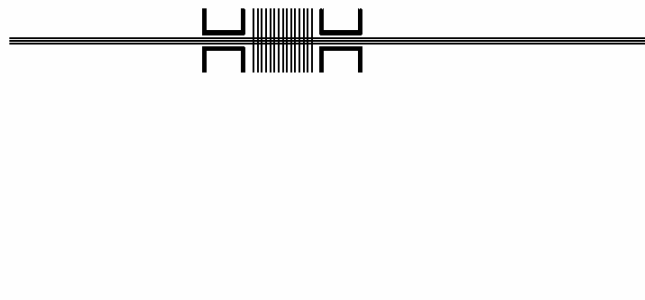


Bild 8. "Dödskallemärkt" lösning

4.2. Kompensatordiagram

För att rätt kunna montera en kompensator måste i varje enskilt fall ett s k kompensatordiagram upprättas. I diagrammet kan avläsas hur mycket kompensatorn ska förspännas vid den aktuella montagetemperaturen. På diagrammets x-axel avsätts aktuellt temperaturområde och på y-axeln en skala som omfattar kompensatorns max- och min-längder.

För att kunna välja en kompensator behövs följande indata:

- Aktuell ledningssträcka
- Typ av rörmaterial
- Maximal temperatur
- Minimal temperatur

Därefter beräknas ledningsexpansionen med aktuella data.

En för aktuell kompensator specifik linje ska konstrueras. För konstruktionen av diagrammet måste följande indata finnas tillgängliga:

- Kompensatorns ospända längd
- Kompensatorns slaglängd
- Kompensatorns maximala längd
- Kompensatorns minimala längd

Kompensatorns slaglängd väljs längre än den erforderliga slaglängden för att ta upp ledningsexpansionen. Denna skillnad utgör en beräkningsmarginal. Den utnyttjas så att man till kompensatorns minlängd adderar 2/3 av marginalen och från kompensatorns maxlängd subtraherar den resterande tredjedelen.

Om beräkningsmarginalen är mindre än 10 mm, utnyttjas den som regel bäst om hela överskottet adderas till kompensatorns minlängd, vilket innebär att hela beräkningsmarginalen läggs till den övre temperaturgränsen.

Kompensatorns ospända längd är inte alltid median i slaglängden. Om t ex slaglängden är 100 mm kan den vara jämnt fördelad på +50/-50 mm men också vara +75/-25 eller ±0/-100 mm (ospänd längd med stoppklack), etc. Där kompensatorns karaktäristika närmar sig 0 mm på plussidan ("drag") läggs hela beräkningsmarginalen till minlängden för att undvika att maxlängden överskrids och omvänt där kompensatorns karaktäristika närmar sig 0 mm på minussidan ("tryck"). Vid fördelningen av beräkningsmarginalen måste man hela tiden tillse att denna ligger innanför kompensatorns max- respektive minområde.

I diagrammet avsätts på y-axeln en skala som går från kompensatorns minlängd till dess maxlängd. På x-axeln avsätts en temperaturskala från -20°C till cirka +140°C. Se bild 9 nedan.

En punkt i skärningslinjen mellan kompensatorns maxlängd och temperaturen 0°C (A) avsätts. En punkt i skärningslinjen mellan kompensatorns minlängd och temperaturen 120°C (B) avsätts. Därefter sammanbinds punkterna med en linje. Denna är kompensatorns ideallinje.

Man kan nu med ledning av aktuell uppmätt montagetemperatur – vilken som helst mellan 0°C och 120°C – ur diagrammet avläsa den längd till vilken kompensatorn ska förspännas, d v s kompensatorns montagelängd.

För att beräkningsmarginalerna längs ideallinjen ska kunna avläsas i diagrammet går man till väga på följande sätt:

- Med utgångsläge från punkt B avsätts, uppåt längs 120-graderslinjen, det beräknade marginalavståndet i punkt C. Avståndet B-C är alltså beräkningsmarginalen vid övre temperaturgränsen.
- Punkt C sammanbinds med punkt A. Linjen kan förlängas ned till x-axeln.
- Med utgångsläge från punkt A avsätts, nedåt längs 0-graderslinjen, det beräknade marginalavståndet i punkt D. Avståndet A-D är alltså beräkningsmarginalen vid nedre temperaturgränsen.
- Punkt D sammanbinds med punkt B. Linjen kan förlängas upp till en tänkt, vågrät linje från kompensatorns maxlängd.

Kompensatorn är rätt monterad om dess skärningspunkt mellan längd och rådande rörtemperatur hamnar inom den nu avsatta ”marginalytan” i ett driftsatt system.

4.3. Exempel på insvetsning av kompensator

4.3.1. Förutsättningar, beräkningar och konstruktion av kompensatordiagram

-Aktuell ledningssträcka	Rörlängd 55 m
-Rörmaterial	Stål, $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$
-Maximal temperatur	+120°C
-Minimal temperatur	$\pm 0^\circ\text{C}$

Beräkning av ledningsexpansion:

$$\Delta L = L \cdot \Delta T \cdot \alpha = 55 \cdot 120 \cdot 12 \cdot 10^{-6} = 0,0792 \text{ m} \cong 80 \text{ mm}$$

Kompensator med 100 mm slaglängd väljs:

-Kompensatorns ospända längd	560 mm
-Kompensatorns slaglängd	100 mm; +30/-70 mm
-Kompensatorns maximala längd	560 + 30 = 590 mm
-Kompensatorns minimala längd	560 - 70 = 490 mm

Beräkningsmarginal:

$$\text{Minlängd: } 490 + (100 - 80) \cdot 2/3 = 503 \text{ mm}$$

$$\text{Maxlängd: } 590 - (100 - 80) \cdot 1/3 = 583 \text{ mm}$$

Genom detta fås en beräkningsmarginal på 503 - 490 = 13 mm vid den övre temperaturgränsen och 590 - 583 = 7 mm vid den undre temperaturgränsen.

Diagram för den exemplifierade kompensatorn konstrueras enligt bild 9 nedan.

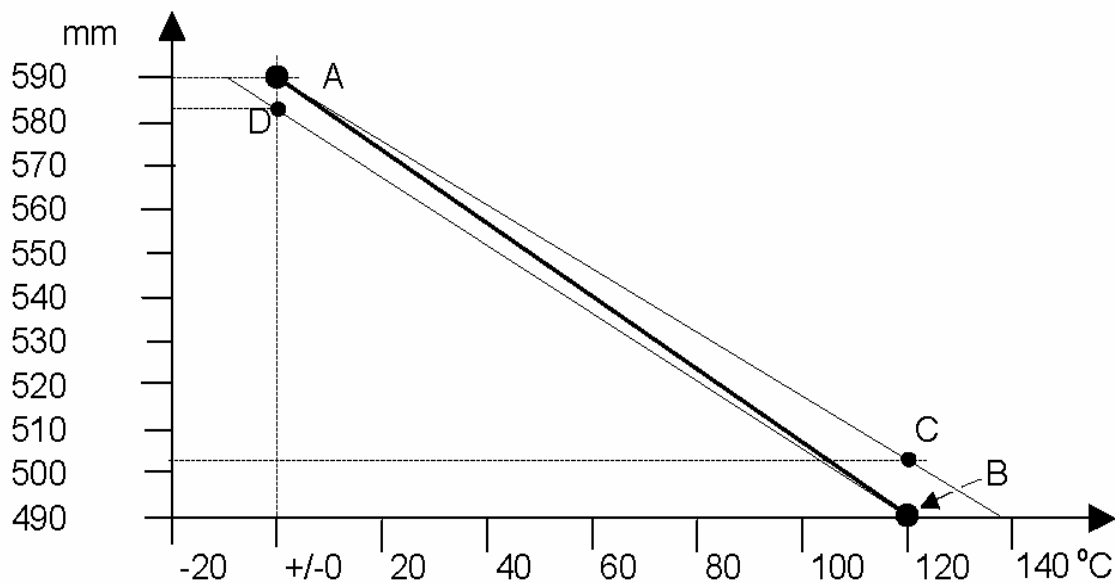


Bild 9. Konstruktion av kompensatordiagram

4.3.2. Nybyggnad

Antag en utomhustemperatur på 20°C. Vid inbyggnad av ny kompensator förspänns denna från den ospända längden 560 mm till 573 mm, d v s den längd man avläst i diagrammet vid aktuell rörtemperatur som i exemplet antas vara lika med utomhustemperaturen.

Efter montage, kontroll och värmepådrag görs en kontrollmätning av kompensatorlängden.

Visar det sig vid kontrollmätning efter montaget att den framräknade montagelängden skiljer sig från den verkliga vid aktuell temperatur behöver kompensatorn inte monteras om, om felet ligger inom beräkningsmarginalen, vilket enkelt konstateras i kompensatordiagrammet.

Både vid nybyggnad och utbyte är det viktigt att kompensatorns bälg skyddas mot svetsstänk och annan åverkan.

4.3.3. Utbyte

Vid byte är det speciellt viktigt att välja en kompensator med längre slaglängd (100 mm i exemplet) än den beräknade rörexpansionen (80 mm i exemplet). Baserat på kända indata konstrueras ett kompensatordiagram. Rörstutsar, minst 200 mm långa och fogberedda, svetsas på kompensatorns rörändar. Hänsyn måste tas till korrosionens utbredning och befintliga styrningars placering. Om inte kompensatorn är försedd med dragstänger från fabrik påsvetsas tre stycken sådana, jämnt fördelade runt omkretsen. Rörtemperaturen mäts och med hjälp av diagrammet bestäms hur lång rörbit som ska kapas. Vid t ex rörtemperaturen 80°C ska 525 mm + stutsarnas sammanlagda längd kapas. Denna längd märks ut på röret.

Ledningen stängs, tappas av och tillåts svalna. Därefter kapas röret enligt märkning. Om rörtemperaturen efter kapning är 50°C ska det ideala avståndet mellan de kapade rörändarna vara 550 mm + stutsarnas sammanlagda längd. Rörändarna fogbereds och vid behov tas luckor upp för svetsning på insidan. Kompensatorn dras ut med hjälp av dragstängerna, passas in och svetsas. Efter driftsättning av ledningen kollas dels

kompensatorns raket, dels dess längd i förhållande till diagrammet och beräkningsmarginalerna. Observera att särskilda krav gäller vid lucksvetsning.

Utbytesexemplet åskådliggörs på bilderna 10 och 11 nedan.

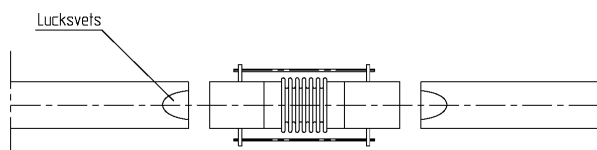


Bild 10. Byte av kompensator – bild

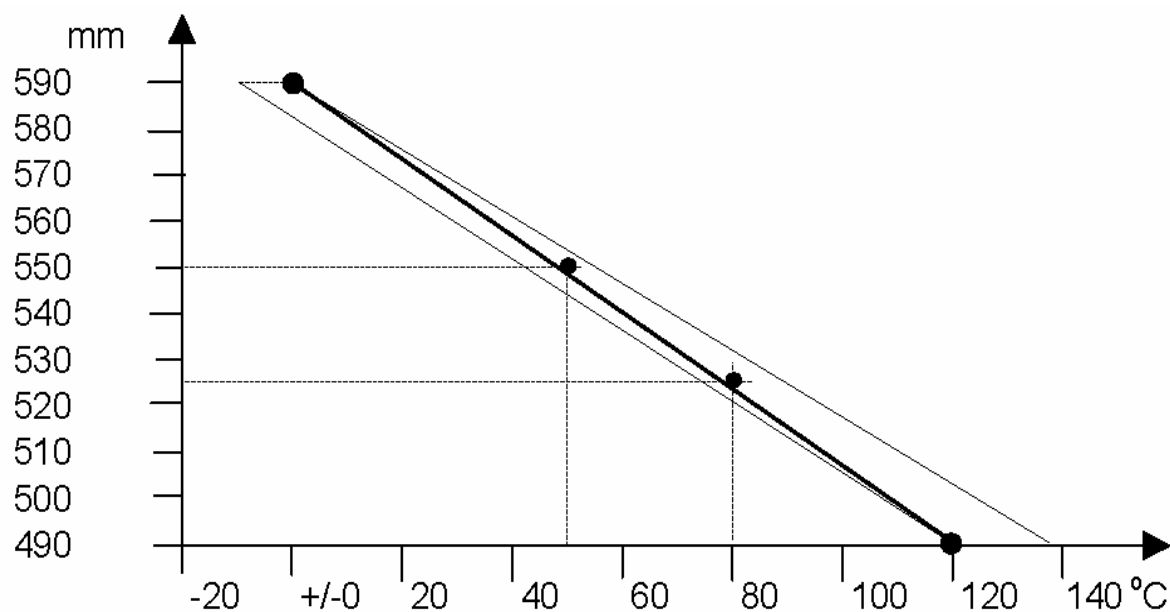


Bild 11. Byte av kompensator – diagram

En skadad kompensator kan tillfälligt ersättas med en rörlyra om driftläget inte medger ett omedelbart utbyte.

Rörlyrans mått väljs med hänsyn till befintliga fixar, rörexansion, flöde samt hur mycket av korroderat rörmaterial utöver själva kompensatorn som måste skäras bort m m. Erforderliga luftningar och avtappningar insvetsas före drifttagning.

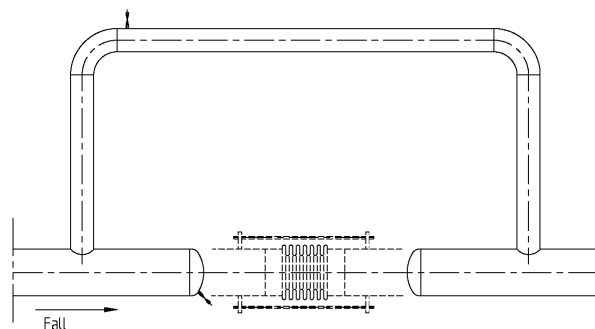


Bild 12. Tillfällig bygling vid kompensatorbyte

5. Krafter, rörelser och utmattning

Kompensatorns funktion och hållbarhet är ytterst beroende av att man har krafter och rörelser under kontroll. Detta förutsätter att man har korrekta indata och god kännedom om driftbetingelserna samt att man förfogar över beräkningsmetoder och beräkningsmodeller som ger en så korrekt bild som möjligt av de verkliga förhållandena.

När det gäller hållfasthetsberäkning av en kompensator bör man beräkna den både ur utmattnings- och påkänningssynpunkter. Hållfastheten mot utmattning är beroende dels av antalet slag dels storleken på slagen. Kompensatorer i fjärrvärmesystem är ofta utsatta för ganska många cykler per år men ofta med små slag som bara utgör en liten del av kompensatorns totala slaglängd. Livslängden blir betydligt större om slaget är väsentligt mindre än fullt slag. Detta samband redovisas ofta av tillverkaren i ett utmattningsdiagram. Det kan därför ofta vara klokt att välja en kompensator med större slaglängd än den uträknade erforderliga slaglängden.

Enligt Svensk Fjärrvärmes tekniska bestämmelser är leveranskravet på kompensatorn bl a att den ska tåla 1 000 hela slag samt 50 000 10%-iga slag med angiven expansionsförmåga, vid 16 bar och 20°C.

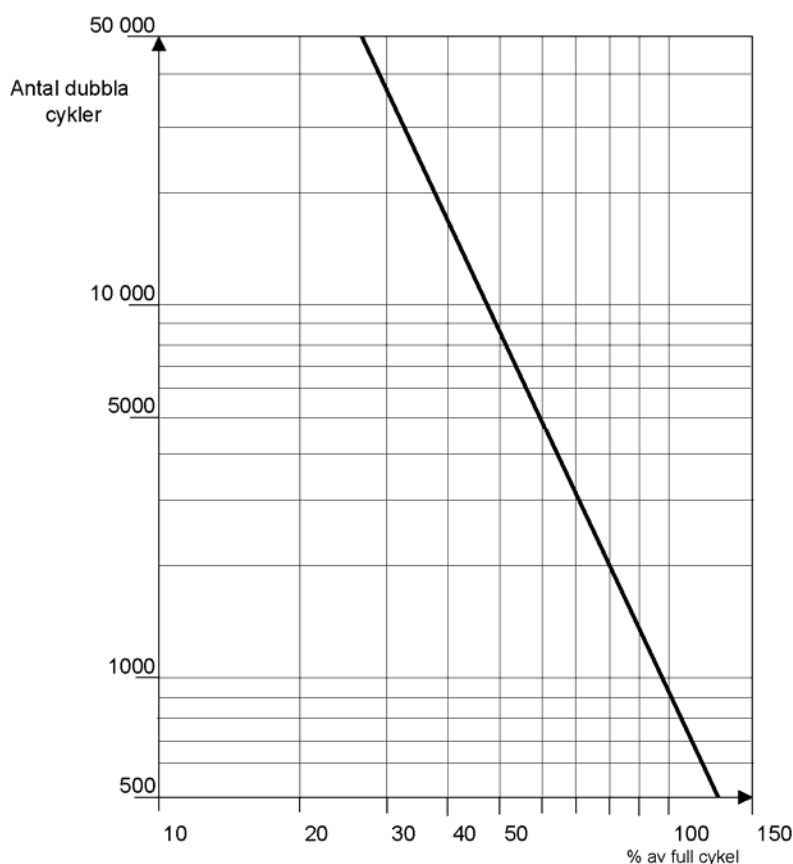


Bild 13. Exempel på utmattningsdiagram

Kompensatorn ger upphov till en reaktionskraft i rörets längdriktning. Denna kraft avväxlas i en fix och är olika stor beroende på hur fixen är placerad i förhållande till kompensatorer och andra komponenter i rörledningen. Reaktionskraftens storlek är

beroende av fyra komponenter; inre övertryck (provtryck), kompensatorns fjäderkraft, rörfriktion och montagesituationen – t ex om fixen sitter mellan en böj och kompensatorn.

En fix som är placerad mellan två kompensatorer med samma dimension kallas ”mellanfix” och är under drift praktiskt taget avlastad förutsatt att det är samma rördimension på båda sidor om fixen. En fix som har en kompensator på endast ena sidan kallas ”slutfix” och får en ensidig belastning som ger upphov till reaktionskrafter i fixen. Se bild 14 nedan.

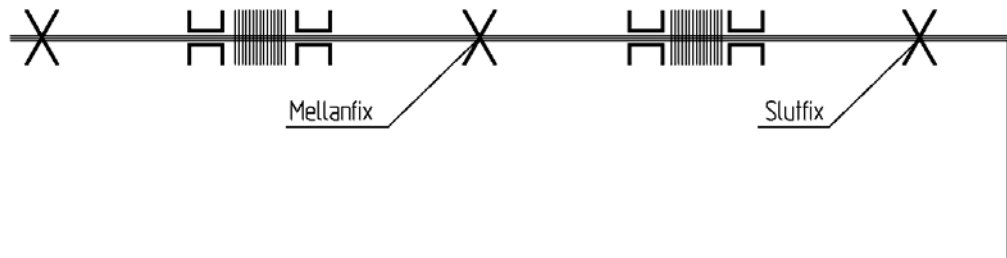


Bild 14. Exempel på mellan- och slutfixar

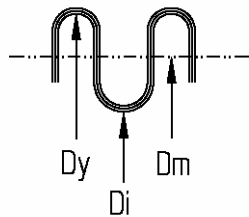
För en fix belägen i en betongkulvert kan man beräkna fixkraften enligt nedanstående formler:

Inre övertryck:

$$F_p = p \cdot A \cdot 10^2 \quad (\text{N})$$

Vid en slutfix är $A = A_m = \pi \cdot D_m^2 / 4$

Vid en mellanfix är $A = A_r = \pi \cdot (D_y^2 - D_i^2) / 8$



Bälgens fjäderkraft:

$$F_b = OD \cdot \Delta_k \quad (\text{N})$$

För stora rördimensioner och när upplag och inte pendlar används måste hänsyn tas till friktionskraften i upplaget med följande formel:

Friktion:

$$F_f = \mu \cdot m \cdot L \cdot g \quad (\text{N})$$

Om fixen ligger mellan kompensatorn och en böj (slutfix) kan den dynamiska kraft som tillkommer pgr. av flödet beräknas enligt följande formel:

Dynamisk kraft i rörriktning: $F_c = 2 \cdot A \cdot d \cdot v^2 \cdot (\sin \beta / 2) \cdot 10^{-4} \quad (\text{N})$

A = Rörarean.

För fasta fjärrvärmesystem räknas kraften p g a av kompensatorn på samma sätt som för betongkulvertförlagda rör undantaget friktionskraften som fås ur tillverkarnas tabeller eller beräknas enligt nedanstående formel:

Friktion:
$$P_f = (1 + \mu_0) / 2 * \pi * D * z * \gamma * \mu \quad (\text{N/m})$$

Teckenförklaringar:

p = Provtryckningstryck (MPa)

A_m = Effektiv bälgarea (beräknad på bälgens medeldiam. d_m , kataloguppg.) (cm²)

A_r = Bälgens ringarea kompenserad för dragkraft i bälgtoppen (cm²)

OD = Fjäderkonstant (kataloguppgift) (N/mm)

Δ_k = Beräknad slaglängd (mm)

m = Total vikt rör (inkl. vatten) (kg/m)

L = Avstånd mellan fix och kompensator (m)

g = 9,81 m/s²

d = Densitet (kg/m³)

v = Strömningshastighet (m/s)

β = Böjens vinkel (°)

μ_0 = Vilotryckskoefficient (vanligen 0,5)

D = Mantelrörets diameter (m)

z = Läggningsdjup till rörets centrumlinje (m)

γ = Volymvikt på fyllnadsmaterial (N/m³)

μ = Friktionskoefficient mellan fyllnadsmaterial och mantel vid fasta fv-rör.

Vid normal rörelse används $\mu = 0,4$. Friktionskoefficienten för rörupplag med stålblock vid betongkulvert sätts från $\mu = 0,15$ (med t ex teflonplatta mellan) till 0,50 (direkt på rostig balk) beroende på utförandet.

Numera görs med fördel beräkningarna med hjälp av datorprogram som ger snabba och exakta beräkningsresultat.

6. Skador

6.1. Allmänt

Kompensatorer kan skadas på olika sätt. Den absolut vanligaste skadan är genomslag i bälgen. Det kan förorsakas av olika händelser.

En vanlig skadeorsak är fukt eller vattenbegjutning som orsakar korrosion på bälgen och därmed försvagning av kompensatorn. Har man då flerskiktetsbälg behöver genomslag i ett av skikten inte betyda ett omedelbart haveri.

Eftersom materialet i bälgen oftast är austenitiskt, rostfritt, krom/nickel-stål föreligger en känslighet för spänningskorrosion vid närvaro av klorider.

Den förhärskande skadeorsaken är dragspänning i kombination med yttre åverkan i form av t ex droppande dagvatten med vägsaltinblandning eller kondensdropp med inblandning av klorider från betong eller isolering. En kombination som underblåser spänningskorrosion.

Förebyggande åtgärder mot skador av fukt eller vattenbegjutning kan vara effektiv dränering och luftning av kulverten och droppskydd över kompensatorn.

Skador vid insvetsning av kompensatorer förekommer också. Man har då inte i tillräcklig utsträckning täckt kompensatorn utan svetsnsprut har skadat bälgen vid insvetsningen.

En annan skadeorsak är felaktig dimensionering eller felaktigt montage. Dessa fel ger upphov till över- eller felbelastning av kompensatorn och i förlängningen haveri.

Ytterligare en skadeorsak kan vara sättningar i betongkulverten, t ex på grund av trafiklast eller ändrade ytvattennivåer som påverkar och förändrar belastningarna på kompensatorn på sådant sätt att haveri kan uppstå.

Även förskjutningar p g a för stort spel i styrningar, fixhaveri p g a feldimensionerade fixar eller felaktig hantering under transport och före insvetsning kan också orsaka skador på kompensatorer.

Dock är kompensatorn ofta angripen på ett sådant sätt att det är stora svårigheter att avgöra primärorsaken till skadan.

6.2. Skadestatistik Sverige

År 1975 gjorde ”Svenska Värmeverksföreningen” en uttömmande utredning om kompensatorskador. Samtliga medlemsverk, utom fyra, med kompensatorer i näten lämnade uppgifter om skador. År 1977 upprepades utredningen. Resultatet var snarlikt det från 1975.

Vi ser här hur viktigt redskap statistiken är. Vi ser fram emot Svensk Fjärrvärmes efterföljare till Kulvertskade- eller Nätstatistiken, ”TermoStat” snart skall bli användbar.

I tabellen nedan redovisas kompensatorfakta per den 1977-12-31. Uppgifterna härrör från 47 st medlemsverk och driftstiderna varierar från 0 till cirka 27 år.

Kompensator fabrikat	Antal monterade	Antal skador (st)	Antal skador (%)
BOA	6472	166	2,6
Teddington	29611	65	0,2
Vokes	4880	356	7,3
IWK	206	0	0
Övriga	1564	9	0,6
Totalt	42733	596	1,4

Bild 15. Kompensatorfakta för svenska nät år 1977

Som framgår var skadefrekvensen för kompensatorer relativt låg för tre decennier sen. Det utstickande undantaget var Vokes-kompensatorn. De skadade Vokes-kompensatorerna har till den helt övervägande delen suttit i framledningarna medan BOA-kompensatorerna varit jämnt fördelade mellan fram- och returledningarna.

Under perioden 1968 t o m 1978 sammanställde Korrosionsinstitutet i samarbete med Svenska Värmeverksföreningen statistik över längder för olika kulverttyper samt kulvertskador; ”Kulvertskador 1968-1978”. Den enda statistik som redovisades om kompensatorer var skadeantalet per år. Summan för perioden var 381 st och värsta åren var 1977 och 1978.

Skadeår	Skadeantal
1968	9
1969	9
1970	39
1971	30
1972	22
1973	14
1974	42
1975	26
1976	32
1977	68
1978	90
Summa	381

Bild 16. Kompensatorskador i svenska nät 1968 t o m 1978

Åberopande dessa fakta och kompensatorfakta enligt bild 15 har kompensatorskadorna från 1950 t o m 1978 varit 686 till antalet varav 56% inträffat under den senaste 10-årsperioden. Om man sätter skadeantalet i relation till antalet monterade kompensatorer blir resultatet inte alltför nedslående:

Av cirka 43 000 monterade kompensatorer har 1,6 % skadats under en 28-årsperiod.

I sammanhanget ska påpekas att det i anvisningarna för skaderapporteringen bl a står skrivet: ”Om de skadade skarvarna ligger så tätt att de friläggs i samma schaktgrop (t ex lyror) rapporteras de som en skada.”

Eller rättare; ”..... som ett skadetillfälle”. Och andemeningen är att det som gäller för skarvar även ska gälla för kompensatorer, ventiler, rör, m fl komponenter. Man kan också definiera ett skadetillfälle som en sammanhängande skada på rör och delar som avgränsas av oskadade delar.

Detta kan ha tolkats olika bland medlemsverken. Vilket är fullt förståeligt då det som tidigare redovisades som ”Kompensatorskada” redovisas som ”Utbytt kompensator” fr o m 1988 års kulvertskadestatistik.

Kring år 1980 började Svenska Värmeverksföreningens statistik benämnas ”Kulvertskadestatistik” och så har den gjorts fram till 2000-talet. T o m 1993, med undantag för 1987 och 1989, sammanställdes antalet kompensatorskador per kulverttyp. Typ av kompensator redovisades inte.

Från 1994 redovisades endast det totala antalet utbytta kompensatorer per år och under 90-talets senare hälft nämns inte kompensatorer överhuvudtaget i kulvertskadestatistiken.

TYP AV KULVERT	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	SUM TOT
Betong, ull- el cellbtg-isol	26	49	16	(10)	12	(9)	8	16			(4)	150
ACE, ull-, cellbtg- el PUR-isol	7	12	5	(3)	1	(3)	3			4	(3)	41
Plastmantlad hålrör					1							1
Fasta fjärrvärmerör	2	3							1			6
Flexibla fjärrvärmerör	2											2
Kam,brunn,inomhus,Isoform,cellbtg,mfl	9	4	7	(5)	6	(4)	7	18	6	4	(3)	73
Sum/år	46	68	28	(18)	20	(16)	18	34	7	8	10	273

Bild 17. Kompensatorskador alternativt utbytta kompensatorer i svenska nät. (18) = antaget antal

6.3. Skadestatistik Malmö

Malmö började dokumentera skador på fjärrvärmenätet på ett strukturerat sätt år 1974. Fram t o m år 2004 inrapporterades 680 st skadetillfällen på Malmönetet. I 77 av fallen (11 %) var det en eller flera kompensatorer som hade uppvisat skador. Som tidigare nämnts är det svårt att avgöra om kompensatorn varit ”förövaren” eller ”offret”, men man kunde med säkerhet konstatera att det åtminstone vid sex av tillfällena (8 %) brustit i förinställning eller styrning av kompensatorerna. Det byttes ut sammanlagt 172 st kompensatorer under 30-årsperioden. Av dessa var 83 st typ Vokes, 85 st typ BOA och 4 st typ Teddington. Se tabell nedan.

Skade- år	Skade- tillfällen	Utbytta Vokes	Driftsår snitt	Utbytta BOA	Driftsår snitt	Utbytta Tedd	Driftsår snitt	Utbytta tot/år
1974	3	4	10,5					4
1975	2	5	10					5
1976	6	4	11*	5	17			9
1977	18	10	11,5	34	18			44
1978	7	16	11,5	6	19			22
1979	4	6	14	2	20			8
1980	3	8	14,5					8
1981	7	5	11,5	7	17			12
1982	3	2	15	6	16			8
1983	4	3	11,5	8	26,5			11
1984	1	2	21					2
1985	1	1	18					1
1986	5	3	15,5	3	27,5			6
1987	1			2	22			2
1988	2	1	21	1	27			2
1989	1			1	33			1
1990								0
1991	1			4	33			4
1992	1			2	32			2
1993								0
1994								0
1995								0
1996								0
1997	3	1	30	4	28	4	41	9
1998								0
1999	1	6	29					6
2000	1	2	27					2
2001	1	2	34					2
2002								0
2003	1	2	35					2
2004								0
sum snitt	77	83	^{1280,5} 15	85	^{1772,5} 21	4	41	172

*) Exklusive en tidig, flänsad Vokes-konstruktion med 24 driftsår

Bild 18. Typ och driftsår för utbytta kompensatorer i Malmö 1974-2005

Om man bortser ifrån ett par flänsade Vokes-kompensatorer från 1952 hade den äldsta, utbytt BOA-kompensatorn monterats år 1953, Teddington 1956 och Vokes 1963, uppgifter som verifierar Vokes-kompensatorns sämre kvalitet och Teddington-kompensatorns höga dito.

Som framgår av tabellen skedde 66 st av kompensatorutbytena under tvåårsperioden 1977-1978, d v s 27 % under två av periodens 30 år! Dessa två ”värstingår” är desamma som i skadestatistiken för Sverige. Under denna tvåårsperiod var den genomsnittliga drifttiden för de utbytt Vokes-kompensatorerna i Malmö 11½ år och för BOA-kompensatorerna 18 år. Och, samtliga av Vokes-kompensatorerna var monterade i mineralullsisolerade betongkulvertar, medan ungefär hälften av BOA-kompensatorerna var monterade i cellbetong- eller Isoformkulvertar.

De utbytt BOA-kompensatorerna har haft sex års längre drifttid i genomsnitt än Vokes-kompensatorerna. En kvalitetskillnad således, men det kan också vara så att klimatet varit alltför aggressivt för kompensatorer i dåtidens betongkulvertar. En tes som till viss del bekräftas i Sverigestatistiken – bild 17.

En positiv trend som kan utläsas av tabellen är att det från 1984 t o m 2004 endast bytts ut i genomsnitt två kompensatorer om året i Malmö.

Enligt tidigare dokumentation har det gjorts cirka 110 st kompensatorutbyten under perioden 1951 t o m 1973. Då uppvisade BOA ett klart större antal skador än Vokes vilket inte är anmärkningsvärt eftersom BOA-kompensatorn var ”först på plan” i Malmö – 1973 hade den äldsta BOA dubbelt så många driftsår som den äldsta Vokes

Tilläggas ska att det monterats i storleksordning lika många Vokes- som BOA-kompensatorer i Malmönätet – totalt cirka 4 000 st. Därtill kommer cirka 1 000 st Teddington-kompensatorer.

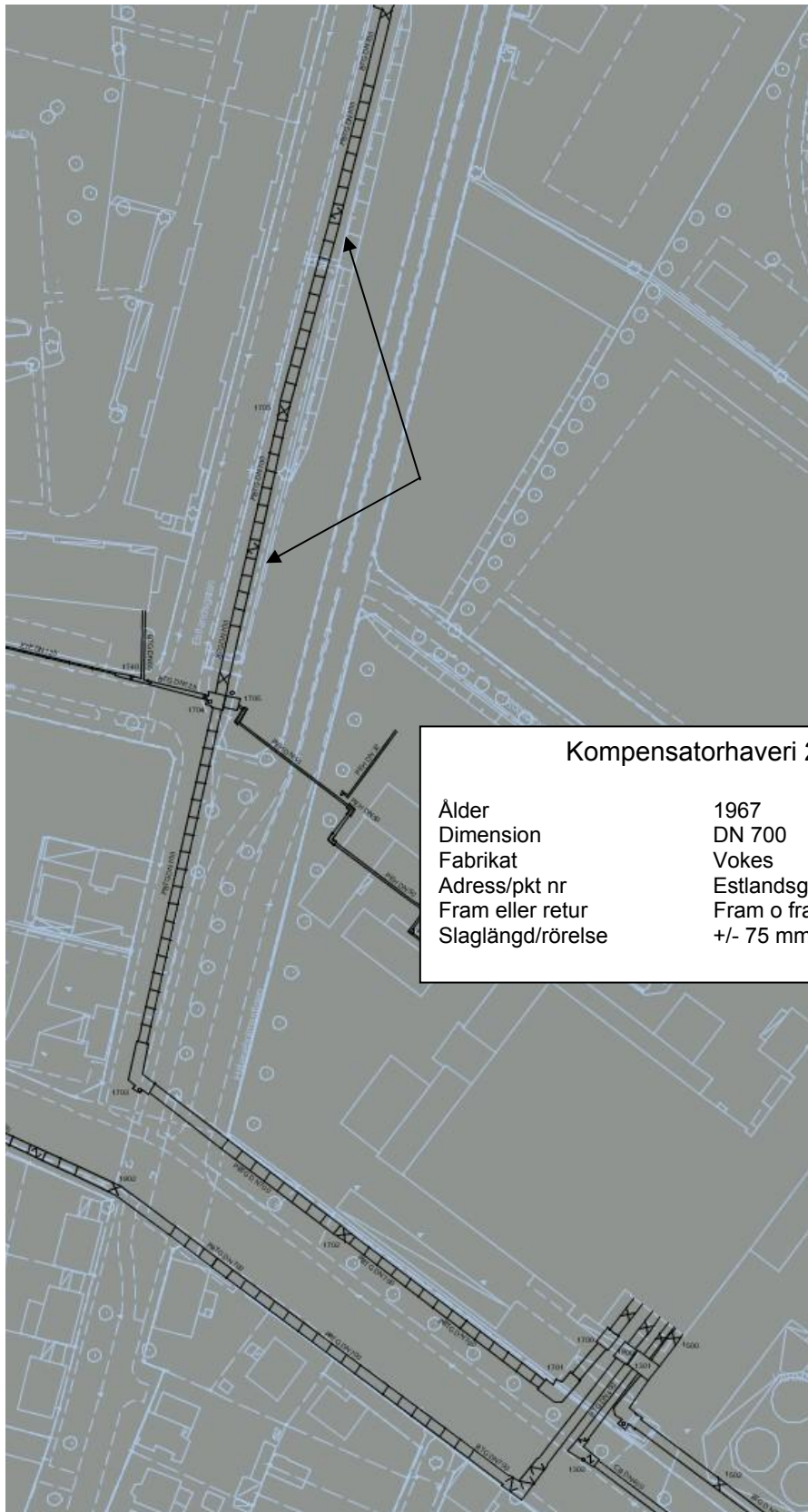


Bild 19. Dokumentation av kompensatorhaveri i Malmö

6.4. Material

Tillverkare av kompensatorer är intresserade av att finna ett material som är beständigt mot spänningskorrosionssprickning utan att förlora det austenitiska krom/nickel-stålets egenskaper.

Vid höga nickelhalter – 45-50 % – är stålet helt korrosionsbeständigt vad beträffar spänningskorrosionssprickning. Ett högvärdigt Ni-legerat material som Incoloy 825 ger ett utmärkt korrosionsskydd men har haft en begränsad användning p g a det höga priset – fyra gånger så högt som vissa andra rostfria stål.

Risken för spänningskorrosionssprickning är som störst vid Ni-halter på 8 % (17-20 % Cr). Om man ytterligare minskar Ni-halten får man ett stål med ferrit-austenitisk struktur. Ferrit-inslaget har en dämpande inverkan på sprickbildningen varför stål med denna struktur kan vara ett bra materialval när risk för spänningskorrosionssprickning föreligger.

Förbättrade egenskaper hos de konventionella ferritiska kromstålen öppnade nya möjligheter för användning av dessa stål i kompensatorsammanhang.

Titan(Ti)stabiliserade stål med låg kol- och kvävehalt av ferritisk typ har uppvisat, förutom att de är okänsliga för spänningskorrosion, avsevärt förbättrade egenskaper när det gäller svetsning och korrosionsbeständighet i övrigt.

Andra bälgmaterier som visat sig vara framgångsrika är Cr-Ni-Mo-stål som 18-8-3 och USS 18-18-2, bägge s k Molybden-stål, samt höglegerade Nickel-stål som Nimonic 75.

Många av de problem som framkommit vid drift av kompensatorer kan härröra från felaktigheter vid tillverkningen. Det är inte ovanligt att materialkvaliteten varierar med olika leveranser från stålverken. Variationer i materialsammansättning och duktilitet (deformationsförmåga) kan ge upphov till svårigheter med svetsning och formning av bälgveck. På 60- och 70-talen saknades noggranna specifikationer för sammansättning och mekaniska egenskaper hos det material som skulle användas till bälgtillverkning.

Idag levereras kompensatorer med materialcertifikat enligt EN-standard och för ett mycket brett användningsområde. Bland andra levererar Nordic Bellows AB stålkompensatorer från DN40 till DN5000, för temperaturer från -270 till +800°C och för tryck -1 till +65bar.

Material i bälg är rostfritt stål t ex SS 2337 (17-19% Cr, 9-12% Ni, max 0,08% C, Ti-stabiliserat), SS 2348 (16,5-18,5% Cr, 11-14% Ni, 2-2,5% Mo, max 0,03% C) och SS 2350 (16,5-18,5% Cr, 10,5-14% Ni, 2-2,5% Mo, max 0,08% C, Ti-stabiliserat).

Mycket korrosionsbeständiga nickellegeringar används i bälgar och under följande inregistrerade varunamn:

Hastelloy C22 (Alloy C-22)	En nickel-krom-molybden legering med god korrosionsbeständighet i flera svåra miljöer.
Hastelloy C-276 (Alloy C-276)	En nickel-krom-molybden legering med extremt hög korrosionsbeständighet; 15,5% Cr, 16% Mo, 4% W(olfram), 5% Fe, max 0,01% C, resten Ni.
Incoloy 825 (Alloy 825)	En nickel-järn-krom legering med tillägg Mo, Cu och Ti. Mycket hög resistivitet mot miljöer innehållande svavel- eller fosforsyra.
Inconel 600 (Alloy 600)	En nickel-krom legering som är korrosionsbeständig i många svåra miljöer vid stigande temperaturer.
Monel 400 (Alloy 400)	En nickel-koppar legering med mycket högt korrosionsmotstånd mot atmosfärisk attack och saltvatten; 32% Cu, 2% Fe, max 0,15% C, rest Ni.

Bild 20. Mycket korrosionsbeständiga nickellegeringar

6.5. Skadeorsaker

6.5.1. Misstag

Det har gjorts en hel del misstag genom åren som lett till att kompensatorn i sig ofta oförskyllt bedömts vara orsak till ett stort antal haverier:

- I begynnelsen skulle kompensatorn vara inspekterbar och monterades därför under, ofta otäta, brunnsbetäckningar i ventilkammare, speciella kompensatorkammare eller inspektionsbrunnar.
- Det fanns brister i metoderna för betonggjutning och kompensatormontage under utbyggnadsboomen på 60-talet. Orsaken kan härledas till okunskap i kombination med stress, slarv och missvisande byggregler.
- Man tätade inte kontroll/utluftnings-hålet i bälgen.
- Man valde kompensator efter pris i stället för kvalitet. Eller rättare; man var inte medveten om de stora kvalitetsskillnaderna.
- Det fanns en period då kompensatorn lämnades helt oskyddad i kulvertar.
- Man kringisolerade kompensatorn med mineralullsmatta som i sin tur skyddades med ett heltäckande plåtsvep. Man åstadkom ett ”våtvarmt omslag” med allt vad det innebär av korrosionsbefrämjande ingredienser.

6.5.2. Isolering

Isoleringsmaterial kan ofta verka som en veke. Den bringar vattnet i beröring med den varma ytan där det förångas, varvid tillförda salter koncentreras. Härtill kommer att isoleringsmaterialet i sig kan innehålla kloridjoner och risk finns, även om det inträngande vattnet är helt kloridfritt, att dessa joner kan anrikas på stålytan. Vid jämförelse mellan försöksresultat och praktiska erfarenheter har emellertid den slutsatsen dragits, att även om vissa isoleringsmaterial innehåller klorid är det i de flesta fall utifrån kommande kloridjoner som orsakar spänningskorrosion. Som kloridkällor kan man peka på vägsalt, bergdropp, PVC, målarfärg, atmosfär som påverkas av ånga från kemisk industri och stänk av kylvatten.

Slutsatsen baseras bl a på en accelererad provning, utförd av W.G. Ashbaugh. Han framkallade spänningskorrosion på mindre än 40 timmar genom att en kloridlösning långsamt droppades genom en isolering ned på ett 125 grader varmt, krökt stålprov. I en motsvarande provning med destillerat vatten provades 35 olika isoleringsmaterial i 336 timmar. Endast tre av dessa orsakade sprickor i stålprovet. Ashbaugh undersökte också sambandet mellan temperatur och spänningskorrosion och fann att korrosionen kunde initieras endast mellan 50 och 200°C.

6.5.3. Ytterligare orsaker

Åberopande ”Skadestatistik Sverige” noteras att skadade Vokes-kompensatorer till den helt övervägande delen suttit i framledningar medan skadade BOA-kompensatorer varit jämnt fördelade mellan fram- och returledningar.

Detta är ett fenomen som vi i det följande ska försöka finna en förklaring till. ”Mellan raderna” levereras en essä över ytterligare orsaker till skador på kompensatorer.

När det gäller öppna system (atmosfärstryck) och syrgasförbrukande korrosion har temperaturen följande inverkan:

Korrosionshastigheten ökar vid en ökning av temperaturen över rumstemperatur. Detta beror på att vattnets viskositet (ν) minskar med stigande temperatur varvid syrets diffusionshastighet (D) ökar i motsvarande grad enligt sambandet $\nu * D = \text{konstant}$. Samtidigt sjunker emellertid vattnets syrgashalt hela tiden vid en ökning av temperaturen. Vid temperaturer som närmar sig vattnets kokpunkt tar denna senare effekt överhanden; syrgasen kokas ur. Resultatet är ett maximum i korrosionshastigheten inom spannet 60-90°C, med en topp vid cirka 75°C.

I helt slutna system, där trycket ökar med temperaturen och det lösta syret således inte drivs ut utan stannar i lösning i vattnet, är korrosionshastigheten kontinuerligt ökande vid en ökning av temperaturen, även över 100°C. Men om systemet är absolut tätt sjunker korrosionshastigheten med tiden eftersom syret förbrukas och någon nytillförsel av syre då inte sker.

Kan man med hjälp av detta resonemang finna förklaringen till att Vokes-kompensatorn är som känsligast i en framledning medan temperaturen – mellan 50°C och 120°C – inte tycks ha någon större betydelse för BOA-kompensatorns skadebenägenhet?

Praktiskt taget samtliga skador på rostfria kompensatorer har uppkommit genom yttre åverkan. Det handlar således om korrosion under atmosfärstryck där korrosionshastigheten kulminerar vid cirka 75°C. Genomfrätning av bälgen har som regel föregåtts av spänningskorrosion.

Spänningskorrosion är en särskiljande korrosion genom vilken ett material på kort tid kan spricka till följd av mekaniska spänningar – i synnerhet dragspänning – och ett lokalt korrosionsangrepp. De vanliga rostfria stählen är särskilt känsliga för lokala angrepp av klorider och syre, speciellt vid förhöjd temperatur.

Vi utgår ifrån att dropp av syrerikt, kloridbemängt vatten på en bälgyta med 75°C och verkande dragspänning är den mest gynnsamma miljön för att maximal korrosionshastighet ska uppnås.

Då kan man tänka sig följande scenarier:

- Sommarfall, framledning; utdragen bälg alternativt bristfällig förinställning, kondensdropp från kulverttak med klorider från betongen alternativt bergtunneldropp.
- Vinterfall, returledning; utdragen bälg alternativt bristfällig förinställning, dropp av dagvatten med inblandat vägsalt genom spricka i kulvertkonstruktion eller genom otät brunnsbetäckning.
- Vårfall, framledning; utdragen bälg alternativt bristfällig förinställning, dropp av dagvatten med inblandat vägsalt genom spricka i kulvertkonstruktion eller genom otät brunnsbetäckning, alternativt bergtunneldropp.

”Våtvarmt omslag” kan vara en påskyndande ingrediens.

Enligt detta resonemang har årstid, förinställning och omgivande skyddskonstruktion avgörande betydelse för kompensatorns livslängd.

Omsorgen vid hantering och montage är också avgörande. Åtskilliga skador på bälgar beror sannolikt på åverkan vid transport/lagring och av svetsstänk eller verktyg vid montering.

Finns det någon skillnad i konstruktionen av Vokes respektive BOA som bidrar till deras olika beteenden?

Det har förekommit haverier p g a undermålig svets mellan kompensatorns bälg och stålrörsände. Fjärrvärmevatten har läckt ut via kälsvetsen och in via luftningshålet mellan skikten i bälgen. Vid ett sådant läckage anrikas de klorider som finns i fjärrvärmevattnet med spänningskorrosion som följd.

Teddington-kompensatorn har inte ytterskiktet genomborrat av denna anledning, men både Vokes och BOA har.

I slutskedet av tillverkningen av BOA-kompensatorn förs rörstuds in i bälghalsen och på utsidan, kant i kant med bälgsiktens ändar, påskjuts en noggrant anpassad, rostfri ring. Mot rörstuds, bälgsiktens ändar och täckring – vilka är blankbearbetade för att förhindra skadliga oxidskikt – görs en kälsvets maskinellt, med skyddsgas och rostfritt tillsatsmaterial.

Svetsförfarandet tycks inte vara lika omsorgsfullt när det gäller tillverkning av Vokes-kompensatorn. Här fogas bälgsiktens samman med en rundgående sömsvets utan täthetskrav. Därefter svetsas bälgsiktens fast på rörstudsens med en argonsvetsad kälsvets.

Häri finns säkert förklaringen till varför Vokes toppar skadestatistiken, men inte till skadefördelningen m h t fram- eller returledning.

Hypotetiskt kan spänningar i bälgen prioriteras som skadebringare. Spänningar uppträder till följd av temperaturförändringar i fluidröret, oavsett konstruktion på kompensator och skalskydd.

Temperaturstörningar i framledningar kan vara både stora och många vad gäller huvudledningar i anknytning till produktionsanläggningar. Temperaturstörningar i returledningar uppträder främst i eller i närheten av serviser och då framförallt i samband med hög tappvarmvattenförbrukning.

Baserat på dessa fakta skulle man kunna påstå att relativt stora kompensatorer skadas oftare på framledningar medan relativt små kompensatorer skadas oftare på returledningar.

I Malmö är det faktiskt på det viset att genomsnittsdimensionen på skadade Vokes-kompensatorer är DN450 och på skadade BOA-kompensatorer DN200 – om man bortser ifrån de kompensatorer som varit felaktigt installerade.

Men förklaringen kan vara enklare än så. Eftersom BOA i betydligt större utsträckning än Vokes varit monterade i ”slutna kulvertar” som cellbetong och Isoform, kan den först skadade kompensatorn ha haft gott om tid att smitta grannen före upptäckt.

7. Slutord

Kompensatorn utgör ofta ett bra alternativ för att ta upp expansionen i fjärrvärmesystem men har på grund av ett stort antal haverier blivit något misskänd. Haverierna har emellertid ofta berott på slarvig hantering, felaktig installation och bristfälligt skalskydd.

Av detta har fjärrvärmebranschen tagit lärdom och rätt val av kompensator kan resultera i en klok lösning, i fall där utrymmeskrävande lyror är alternativet. I fasta fjärrvärmesystem, där skarven är det mest frekventa skadestället, kan lösningar med kompensatorer bli framgångskoncept.

Axialkompensatorn kommer bäst till användning där utrymmet för ledningen är begränsat i sidled och relativt korta expansionslängder förekommer. Lyror bör framförallt utnyttjas där ledningssträckningen är sådan att den i sig själv kan utgöra lyran, i Z- och L-slag.

Avslutningsvis redovisas ett diagram – bild 21 – över skadeutvecklingen för kompensatorer från 1950 till 2005 i svenska fjärrvärmenät. Eftersom Svensk Fjärrvärmes skadestatistik varit ofullständig på senare tid har för denna gjorts en korrelation mot Malmös skadestatistik.

Även om utvecklingstrenden ska uppfattas som en grov bedömning talar mycket för att antalet kompensatorhaverier framöver kommer att ligga på en relativt låg nivå. Och, trots den stora numerären haverier var det år 1978 endast 1,6 % av det då totala antalet monterade kompensatorer som hade berörts sen år 1950.

Dock måste beredskapen hållas hög, speciellt hos förvaltare av äldre och större nät, emedan kompensatorn ofta är förknippad med huvudledningar, där konsekvenserna av haverier blir som värst.

Förutom att man tagit lärdom av begångna misstag, beror också den positiva trenden på det fasta systemets intrång på 70-talet och att man på 80-talet i allt större utsträckning började ersätta kompensatorer med U- och Z-slag i öppna kulvertsystem. Men det kan ju också vara så att kompensatorskador ersatts av skarvskador.

Dagens samlade kunskaper bör ge förutsättningar för att kompensatorer ska kunna fungera utmärkt i fjärrvärmesammanhang.

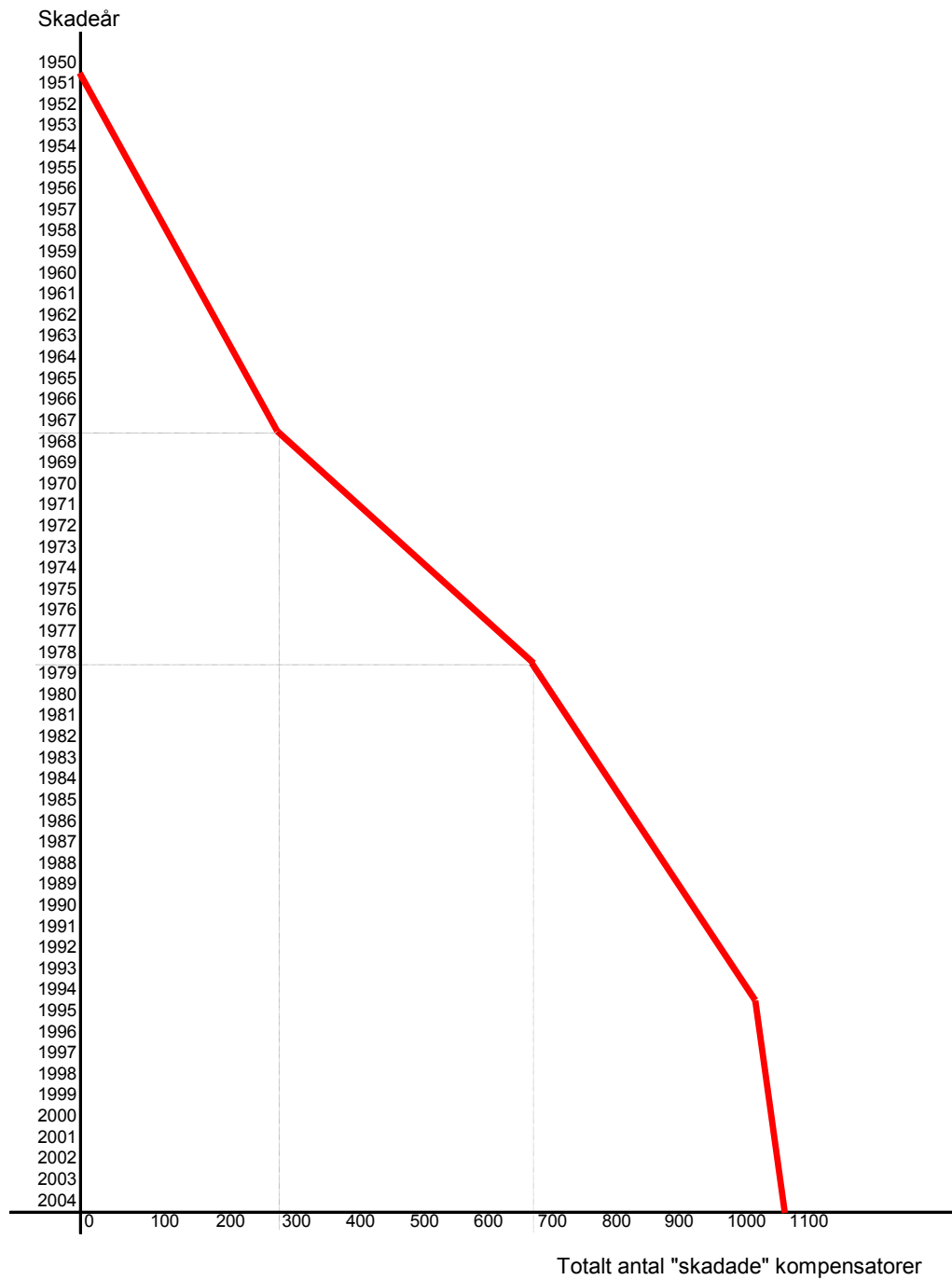


Bild 21. Trend avseende kompensatorskador i svenska nät från 1950

Fjärrvärme och fjärrkyla skapar effektiva och miljöanpassade energilösningar som tar tillvara resurser som annars går förlorade, och ger kunden enkel, trygg och bekväm värme och kyla.



Svensk Fjärrvärme • 101 53 Stockholm • Telefon 08-677 25 50 • Fax 08-677 25 55
Besöksadress: Olof Palmes gata 31, 6 tr. • E-post: kontakt@svenskfjarrvarme.se
www.svenskfjarrvarme.se