

Alla analysvärden är fel, frågan är bara hur mycket?

Representativ provtagning

Dirk Nyrnberg
Oleinitec AB
Box 1204
181 23 Lidingö
www.oleinitec.se

SAMMANFATTNING

De senaste åren har provtagning och provbehandling varit ett återkommande tema i tillgängliga amerikanska publiceringar. Denna rapport är ett försök att sammanställa omfattande debatter och rekommendationer inom området.

En noggrann kemisk analys av vatten och ånga erfordrar mer än pålitliga analysatorer. Denna rapport behandlar omständigheter i provtagningssystemens konstruktion som påverkar noggrannheten av analys på vatten och ånga. Kriterium för att uppnå representativt prov och transportera provet presenteras tillsammans med ett resonemang om effekter på validiteten av provet. Rekommendationer på provtagningsledningens dimensioner och en kvalificering (urval) av komponenter för provtagningssystem inkluderas. Provtagning av både mättad ånga och överhettad ånga behandlas ingående.

Innehållsförteckning	Sida
1 INTRODUKTION.....	3
2 PROVTAGNINGSSYSTEM	4
2.1 FAKTORER SOM PÅVERKAR PROVTAGNING	5
2.2 PROVTAGNINGSPUNKTEN	5
2.2.1 PROVETS BETEENDE	6
2.2.2 ISOKINETISK PROVTAGNING	6
3 PROVTAGNING	7
3.1 PROVTAGNINGSSONDER OCH DESS MUNSTYCKE.....	8
3.1.1 PROVTAGNINGSLEDNINGAR	9
4 TRANSPORT OCH FÖRÄNDRINGAR AV PROVET	10
4.1 PROVTAGNING OCH ANALYS UTFÖRS PÅ ICKE-REPRESENTATIVA PROVER	11
4.2 FÖRÄNDRINGAR AV PROVET UNDER TRANSPORT	13
4.3 FLÖDESFÖRÄNDRINGAR.....	14
4.3.1 FLÖDESHASTIGHETER FÖR ÅNGA OCH VATTEN	15
4.3.2 MODELLER FÖR TVÅFASFLÖDEN	15
5 DIMENSIONERA LEDNINGAR / LEDNINGSDIMENSIONER.....	16
5.1 RIKTLINJER FÖR PROVTAGNING	17
5.2 ANTAGANDEN OM RÖRDIMENSIONER	21
6 PROVTAGNINGSBEHANDLING OCH PROVTAGNINGSKOMPONENTER	22
6.1 UTRUSTNING FÖR TRYCKREDUCERING (REGLERING/JUSTERING AV FLÖDE OCH TRYCK)	22
6.2 FILTER.....	24
6.3 PROVTAGNINGSMODULER/PANELER.....	24
6.4 SÄKERHETSUTRUSTNING.....	25
6.5 SÄKERHET I PROVTAGNINGSRUM	26
6.6 ÅTERVINNING AV PROVTAGNINGSGEVATTEN	26
6.7 UNDERHÅLLSBEHOV	26
6.8 PROCEDURER FÖR MANUELL PROVTAGNING.....	26
7 KÄLLFÖRTECKNING	27

Bilagor

1. P&ID – Schematic of base configuration plus a variety of optional components
2. P&I Diagram: Variante 2
3. P&I Diagram: Variante 3
4. Power Point presentation
5. Produktinformation från Oleinitec AB "Komponenter och system för provtagning i vatten och ångcykeln"

1 INTRODUKTION

Följande bidrag till matarvattenkonferensen 2003 är ett försök att sammanfatta vad som skrivits om representativ provtagning under de senaste åren. Alla källor och hänvisningar kommer från omfattande amerikanska publiceringar. Förhoppningen är att bidraget ska klargöra nya rön och att det ska kunna användas som utgångspunkt för diskussion och översyn av de svenska riktlinjerna för provtagningsystem, då de nya rönen från USA skiljer sig en del från de i "Handbok i vattenkemi för energianläggningar" (14).

Provtagning är en viktig utgångspunkt för kontrollen av vatten- och ångkemin i ångkraftanläggningar. De flesta ångkraftanläggningar samlar provtagningsledningarna till ett centralt beläget provtagningsrum, vilket resulterar i att många provtagningsledningars längd överstiger 150 meter. En del anläggningar använder en diameter på 6-10 mm medan andra använder ledningar som är 12-20 mm för jämförbara prover. Ofta har ångprovet kondenserat fullständigt innan det når provtagningsutrustningen. På grund av det höga tryckfallet och flödenas sammanstötning vid tvåfasflöde, levererar många lågtrycksångors provtagningsledningar endast en bråkdel av önskad flödes hastighet. Överdimensionerade ledningar gynnar en hastig kondensation med långsamt vätskeflöde. Prov från långsamt strömmande kondensat deponerar/fäller ut föroreningar på rör väggarna.

Ofta upprätthåller den som är ansvarig för anläggningens kemi, flöde och andra parametrar till analysatorerna utan betydande beaktande (kännedom) till systemets design flöde och andra faktorer som kan påverka provet. Electric Power Research Institutes (EPRI), redogörelse (översatt) "Manual för riktlinjer på instrumentering och övervakning av kemin i vatten & ångcykeln i fossila anläggningar" (1) konstaterar. "I många exempel har betydande omsorg och hängivenhet lagts ned för att uppnå så noggranna analysresultat som möjligt, medan provtagningsystemet ignoreras, man förmodar att ett representativt prov kommer att tillhandhållas under alla omständigheter."

En omsorgsfullt utförd analys är utan värde om ett dåligt (icke representativt) prov används. För att uppnå ett representativt prov krävs ett omsorgsfullt övervägande av konstruktionen och driften av ett provtagningsystem. Denna rapport riktar in sig på potentiella problem i att uppnå representativa vatten- och ångprover och sammanfattar enligt EPRI de bästa metoderna och utrustningarna mest lämpade för att få fram representativa, oförorenade och korrekt behandlade prover. Alla metoder kommer inte att vara praktiskt tillämpbara i alla anläggningar, och de kan införas baserat på resurser och den nytta de ger.

Material och konstruktion på provtagningsutrustningen spelar också en viktig roll i hur insamlingen av representativa prover utförs. Materialet för munstycke, provtagningssonder, rör, pumpar och ventiler måste vara korrosionsbeständigt och förenligt med provet och den analys som utförs. Dessutom är det väsentligt att välja den mest effektiva utrustningen för just den speciella uppgiften. Tex nålventiler har använts tidigare för att reducera trycket i system för provtagningsutrustning. Det har framkommit att vid höga temperaturer, orsakar de dissociation av vatten pga den energi som frigörs inom den lilla volymen i ventilen. Alternativa metoder för tryckreducering (behandlas senare) är tillgängliga. Dessa metoder är de mest effektiva för att uppnå ett oförändrat och följaktligen ett mer representativt prov.

För mer detaljerad information hänvisas till respektive källa.

2 PROVTAGNINGSSYSTEM

Det är viktigt att känna till de potentiella problemen med konstruktionen och driften av provtagningssystemen. Det är en mängd faktorer som bidrar till förändringar i provets sammansättning och utfällning av föroreningar på rörväggarna. En bidragande faktor är tillskottet av föroreningar i samband med s.k. "Crud bursts" (som innebär att stora mängder föroreningar släpper på en gång) som orsakas av en plötslig ökning av flödet. Dessutom om provflödets hastighet inte är tillräckligt högt kommer avsättning av partiklar att ske. Kemiska reaktioner med röret (och/eller ämnen på rörväggen) medverkar också till förändringar i provets sammansättning. Några av de kemiska reaktioner som kan påträffas inkluderar följande:

- Sönderdelning/nedbrytning av hydrazin och/eller organiska föroreningar
- Syrets reaktion med hydrazin, korrosionsprodukter och/eller metaller
- Dissociation (sönderdelning) av vatten
- Adsorption av jonföroreningar på utfällda korrosionsprodukter (magnetit). Härrör från sedimentering/fällning från tyngdkraften och hydrodynamiska krafter, och elektrostatisk attraktion av laddade partiklar till rörväggen
- Kristallisering av tex natriumsalter som beror på förändringar i lösligheten

En annan synpunkt är att i alla provtagningssystem har ett utbyte av föroreningar (som tex korrosionsprodukter, järn, nickel och krom) mellan provflödet och provtagningssystemets yta. Så småningom uppnås ett jämviktstillstånd. När provet inte är i jämviktstillstånd med ytan, kommer provets sammansättning att förändras. Tiden som behövs för att uppnå detta jämviktstillstånd ökar med minskad ytarea och ökad provflödehastighet. Om tillräcklig (rekommenderad) flödehastighet (ca 1,8 meter/sekund) kan upprätthållas, kommer det ta ca 1 månad (12) innan det önskade jämviktstillståndet uppnås.

Stopp i provtagningssystemet orsakat av anhopning av utfällningar/avlagringar eller partiklar som fångas i rörledningar med liten diameter, är en annan källa till potentiella problem. Längden av provtagningssystemet eller lågt provflöde ökar sannolikheten till att provets sammansättning förändras i provtagningssystemet och kan leda till oacceptabla tidsfördröjningar.

Korrekt provbehandling är en annan väsentlig faktor för konstruktionen och driften av provtagningssystemen. Analysinstrument för kontinuerlig mätning kräver ett konstant flöde och temperatur för att fungera noggrant (många instrument har idag utvecklade temperaturalgoritmer för noggrann temperaturkompensering). Dessutom måste säkra förhållanden upprätthållas för personalen vid insamling av handproverna.

En annan källa till potentiella problem i provtagningssystemet är provtagningsskylaren. Det är viktigt att undvika beläggningar och korrosion på kylvattensidan samt upprätthålla ett konstant provflöde genom kylaren.

I samband med insamling av manuella prover finns också många möjligheter till förändringar i provets sammansättning. Några exempel på där det är speciellt kritiskt, är för pH, konduktivitet, löst syre, ammonium och hydrazin (eller ersättare för hydrazin). Ingen kontakt mellan provet och luften får ske. Dessutom kräver transport, lagringsmetoder, fördröjningstider från provtagning till analys

speciell hänsyn för att undvika förändringar i provets sammansättning. Ovanstående problem angående manuell provtagning behandlas inte vidare i denna presentation.

2.1 FAKTORER SOM PÅVERKAR PROVTAGNING

2.2 Provtagningspunkten

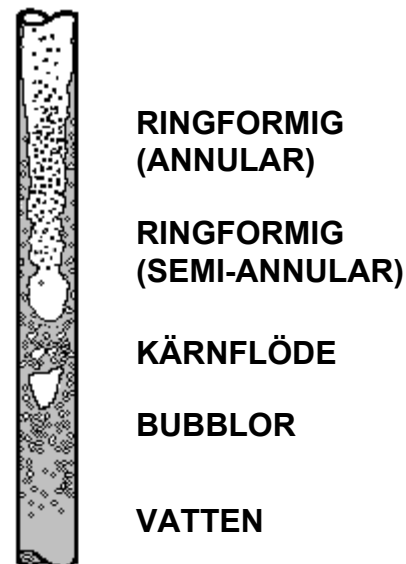
Det är många faktorer som inverkar på hur bra ett prov representerar det media från vilket det är draget ifrån. Provtagningspunkten måste väljas ut med omsorg så att provet är representativt för huvudströmmen, särskilt när olösta ämnen förekommer.

Det finns tex vissa installationer som har provuttaget för pannvatten i ledningen för bottenblåsningen (men att föredra är ett uttag i något av fallrören). Under förutsättning att provtagningsflöde är enligt rekommendationerna på ca. 1,8 meter/sekund kommer svarstiden att vara mindre än 3 minuter. Men om ventilen för bottenblåsningen är stängd, kommer en anseilig tid att krävas för att provet ska nå provuttaget. Många anläggningar körs med liten eller ingen bottenblåsning, vilket då kan ge en svarstid på 30 minuter. Stora skador kan uppstå i anläggningen på 30 minuter om en pH-sänkning sker.

Om kemikalier doseras eller när andra flöden förs in till provmediet, måste också provtagningspunkten placeras tillräckligt långt nedströms för att säkerställa ett fullständigt blandat prov. Förutsatt ett turbulent flöde, kan provtagningspunkten placeras med en motsvarande längd av 25 diametrar nedströms från doseringspunkten för att anses vara godtagbart. En motsvarande längd av 50 diametrar rekommenderas för ett laminärt flöde.

2.2.1 Provetts beteende

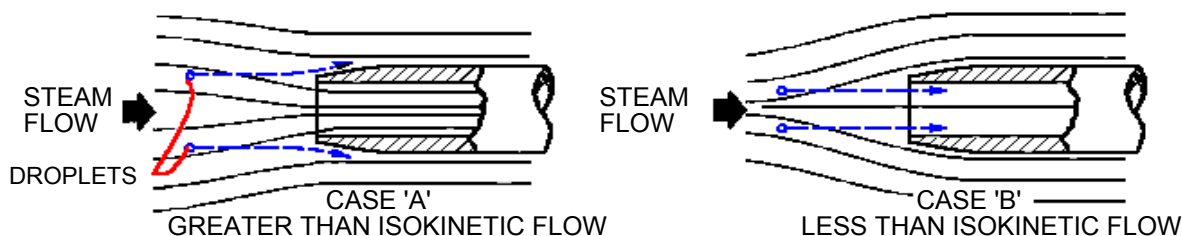
Konstruktion av provtagningsledningar kräver en förståelse för provets beteende. Ett prov med mättad ånga utgår vid provtagningssonden som ånga med medförda vattendroppar. Då flödet fortskrider fram i röret, orsakar värmeförlusten en vätskefilm som bildas på ytan av rörets insida. Vattenfilmen rör sig betydligt långsammare än ångan. Ytan av vattenfilmen har drivande vågor som varierar med vattnets och ångans hastighet. Samtidigt bärs små vattendroppar fram av ångflödet som stöter ihop med vattenfilmens vågtoppar och blir uppfångade. Vattenfilmens tjocklek tilltar gradvis med ytterligare kondensation. När vattenfilmen uppnår en tillräcklig tjocklek, utvecklar flödet ett skummande kärnflöde där stora bubblor av ångan flödar snabbare än åtföljande vätska och kringgår vätskan mellan bubblorna. Gradvis minskar storleken på bubblorna tills all ånga kondenserats och resulterar i en enkelfas av vatten. Om provtagningsledningen är kort, kommer inte alla faser stöta samman. Ett överhettat prov utgår vid ett stycke torr rörvägg, som sedan genomlöper samma förlopp som behandlats ovan. Figur 1 visar en begreppsmässig bild av provets ångflöde med värmeförluster mot rörväggen.



Figur 1. Begreppsmässig flödes modell

2.2.2 ISOKINETISK PROVTAGNING

Ångflödets provtagningshastighet ska vara kompatibel med provtagningssonden för ånga. Provningsföreskrifter för prestanda från "the American Society of Mechanical Engineers" (ASME) (2), EPRI (1) rapport och "the American Standard for Testing and Materials" (ASTM) "Standard Practice for Sampling Steam" (3) alla tre kräver isokinetisk provtagning för mättad ånga. ASME provningsföreskrifter (2) fastställer att isokinetisk provtagning skall ha en sådan hastighet att provet som kommer in i provtagningssonden har exakt samma hastighet som provströmmen i ledningen utanför sonden. På grund av att mättad ånga normalt är ett tvåfasflöde, bestående av ånga och små droppar av vatten, måste isokinetisk provtagning tillämpas. Eftersom de kemiska beståndsdelarna i vatten avviker från de i ånga, kräver alla giltiga prover att förhållandena av ånga och vatten i provet ska vara representativt till processflödet.



Figur 2: Effekter när inte isokinetisk provtagning tillämpas
Källa: Referens 4

När inte isokinetisk provtagning tillämpas orsakar det fel i provtagning på grund av stora skillnader i densitet mellan vätskedroppar och ångan. Rörelseenergin orsakar att de tyngre dropparna upprätthåller flödets bana i närhet av provtagningssonden medan ångan som har låg densitets böjer av för att tillgodose provtagningsbehoven. När hastigheten på insidan av provtagningssondens öppning är större än hastigheten av huvudflödet, kommer ångan att ändra riktning mot provtagningssondens inlopp, medan de medförda dropparna passerar på utsidan av provtagningssonden. Minskad provtagningshastighet orsakar att ångan viker av runt provtagningssonden medan dropparna fortsätter sin bana.

Överhettad ånga anses vara en blandning av fasta oxider (till största delen magnetit), fasta utfällda salter och torr överhettad ånga. (5) Forskning har visat att stora mängder föroreningar kan hållas kvar på ytan av oxiderna. Densiteten och trögheten av oxiderna avviker markant från processflödet. Isokinetisk provtagning rekommenderas (1)(5) för att uppnå ett representativt prov av ånga och de tyngre oxiderna.

Forskare har fastställt att prover erhållna från ledningar med mättad ånga i långsam rörelse indikerar låga nivåer av föroreningar. De anser att många föroreningar binds i den vattenfilm som vidhäftar på ytan av processledningen och kringgår provtagningssonderna. Vid högre ånghastigheter alstras vågor på vätskefilmen och droppar från filmen återinträder in i ångan. Nuvarande standarder i USA (2)(3) för provtagning av mättad ånga har en rekommenderad fastställd minimihastighet i ångledningen för representativ provtagning.

3 PROVTAGNING

Det finns många källor av information för provtagningsutrustningar och procedurer (12). Några av dessa tillämpliga benämningar och standarder är listade enligt nedan (12):

Applicable standards and codes

- ASME PTC 19.11 – 1970, part II, Water and Steam in the power cycle
- ASTM D 3864, Standard guide for continual on-line monitoring systems for Water Analysis
- ASTM D 1066, Standard specification for Equipment for sampling water and steam
- ASTM D 3370, Standard practice for sampling water
- ANSI B31.1, American National Standard Code for pressure piping

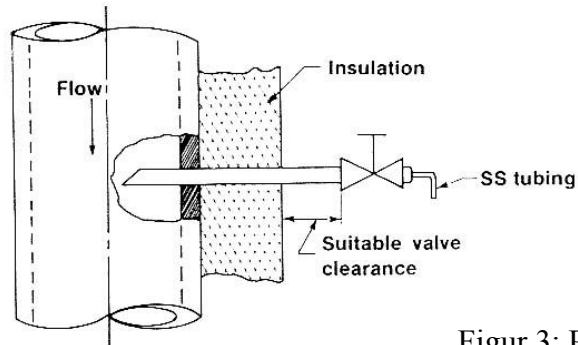
PROVTAGNING

De tre viktigaste aspekterna för konstruktion av provtagningsystem för provtagning av representativa prover är:

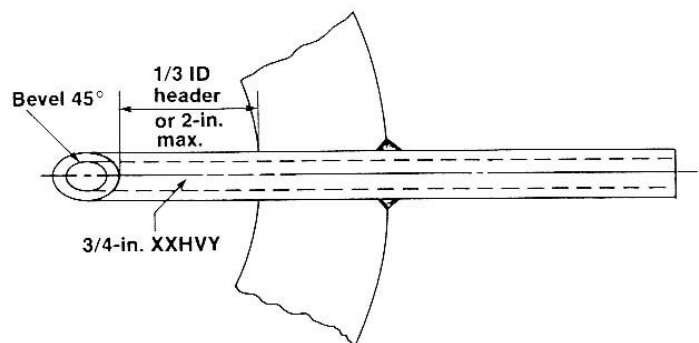
- Provtagningssonder och dess munstycke
- Provtagningsledningar
- Ventiler, pumpar och bestämmelser för anslutningen

3.1 Provtagningssonder och dess munstycke

Konstruktionen av provtagningssondens munstycke inkluderar både multiport och singelport typer. Multiport munstycken har rekommenderats i syfte att uppnå ett representativt prov innehållande lösta partiklar (12). Medans singelportarnas tappar vanligtvis anses vara lämpliga om tillräckligt flöde uppnås för att undvika utfällningar (12). Figur 3 visar en provtagningssond av singelport typ, inklusive placering och konstruktions detaljer.

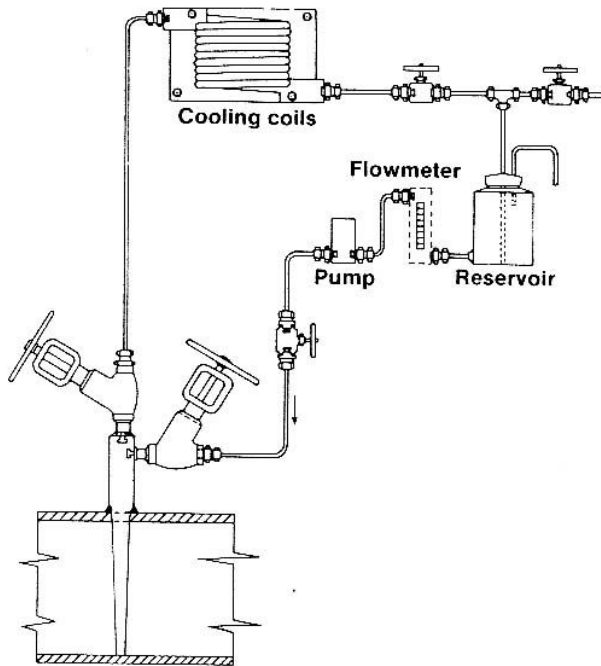


Figur 3: Provtagningssond
Källa: Referens 13



Det är svårt att uppnå prover från mättad ånga pga tvåfasflöden av våt ånga. Tillräcklig flödes hastighet måste upprätthållas i munstycket för att förhindra förlust av föroreningar. Dessutom behövs provbehandling. En isokinetisk provtagningssond upprätthåller samma ånghastighet genom varje port som processledningen i provtagningspunkten. Både munstycken för singel- och multiportar används för provtagning av mättad ånga. Munstyckena för multiportar har en utbredd längd tvärsöver processledningens diameter och är vanliga för provtagning av stora processledningar. Å andra sidan används munstycken för singelportar för överhettad ånga (12).

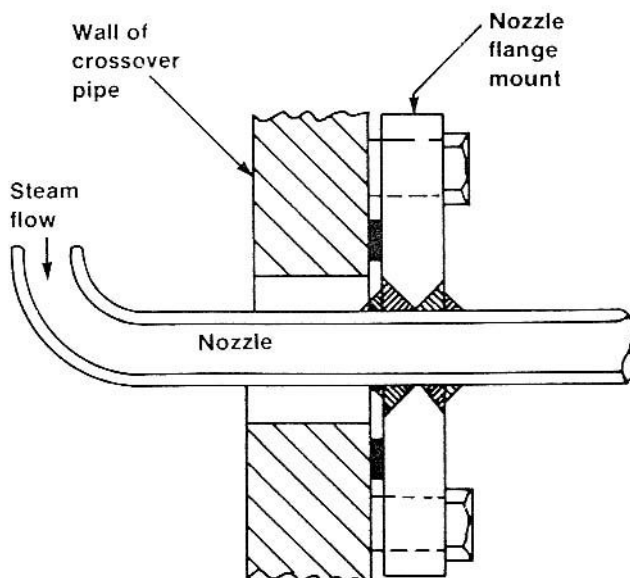
För att uppnå representativt prov på överhettad ånga krävs isokinetisk provtagning eller annan speciell provtagningsteknik. Målet är att undvika utfällningar av olösta och lösta ämnen från den överhettade ångan. Det är kritiskt att det överhettade området för provtagningsutrustningen ska vara slät, utan tvära böjar och hinder för flödet. ASTMs konstruktion för provtagningssonder av överhettad ånga rekommenderar användning av singleport munstycken med återcirkulation av kylt delprov. Kylningen innebär injektion av ett kondenserat delprov direkt in i munstycket, och utförs antingen med naturlig kraft eller med hjälpmedel för återcirkulationssystem. Figur 4 visar provtagningssonden för tvingad återcirkulation av överhettad ånga som beskrivs i Standard ASTM 1066.



Figur 4:
Provtagningssond för överhettad ånga med återcirkulation

Källa: W. E. Allmond and S. J. Potterton. "Chemical Analysis for Fossilplant Water Chemistry." EPRI Symposium on Fossil Plant Water Chemistry, Atlanta, Georgia, June 1985.

Ny utveckling i området för provtagning av överhettad ånga inkluderar provtagningssonden som visas i Figur 5. Denna provtagningssond uppnår isokinetisk provtagning vid full belastning, och för bort provet från rörets yta och kräver ingen återcirkulation. Istället passerar ångan genom en ventil alldeles efter provtagningssonden och in till en kondensor och kylare direkt efter provtagningssonden, undviker utfällning och ger ett kontinuerligt flöde för provtagning (12).



Figur 5:
Provtagningssond för isokinetisk provtagning

Källa: O. Jonas. "Critical Overview of Power Station Sampling and Analysis of Water and Steam." In R. W. Lande and G. Otten, ed. Power Plant Instrumentation for Measurement of High Purity Water Quality, ASTM STP 742. 1981.

3.1.1 Provtagningsledningar

Material och konstruktion av provtagningsledningar måste vara i överensstämmelse med kraven för tillämplig standard. Alla komponenter i systemet som är i kontakt med provet måste vara tillverkat av korrosionsbeständigt austenitiskt rostfritt stål, SS 2343 (typer 316L och 347).

Provtagningsledningen bör utformas så att skarpa krökar, nedsänkningar och låga punkter undviks, för att förebygga ansamling av föroreningar. Sträckningen bör planeras så att provtagningsledningen skyddas från exponering av extrema temperaturer.

Ång- och vattenflödet i provtagningsledningarna måste vara tillräckligt för att upprätthålla turbulens, förhindra utfällning i provtagningsledningen och ge ett välblandat prov. Tidigare rekommenderades att Reynoldstalet skulle vara i området av 20000 till 40000. Senare försöksresultat visar att vattnets flödes hastighet ensamt, är ett viktigare kriterium för representativ provtagning. En konstant flödes hastighet med mer än 1,8 meter/sekund är det som har rekommenderats och är erkänt sedan flera år (12). Provtagningsledningar bör vara så korta som möjligt för att reducera fördröjningstider och förändringar i provets sammansättning. Rörets diameter ska vara tillräckligt för att upprätthålla lämpligt flöde utan orimlig provtagning eller behov av spill, men tillräckligt för att ge ett rimligt tryckfall och undvika ansamling av föroreningar. En innerdiameter av 6,35 mm (0,25 inch) eller större anses vara lämpligt. Tabell B-1 visar effekterna på provtagningsflödet och fördröjningstiderna.

Provflöde (ml/min)	Hastighet (cm/sekund)	Reynoldstalet vid 38°C	Tidsfördröjning (min)		
			Längd: 30 m	Längd: 150 m	Längd: 305 m
100	5	490	9,6	48	97
300	16	1500	3,2	16	32
500	26	2400	1,9	9,6	19
820	43	4000	1,2	5,9	12
2000	104	9700	0,5	2,5	5
4000	2000	20000	0,2	1,2	2,4

Tabell B-1: Effekter på flödes hastigheten

Urvalet är baserat på rördimensionen 9,5 mm (3/8" OD) med (16 BWG) 6,2 mm (0,245" OD).

4 TRANSPORT OCH FÖRÄNDRINGAR AV PROVET

Utöver att uppnå en representativ provtagning vid provtagningssonden är det viktigt att bibehålla sammansättningen av provet i provtagningsledningen. Förlusten av föroreningar genom avsättning på rörväggar kan orsaka felaktiga resultat vid kemisk analys. Dessa förhållanden har tillkännagetts i ASTM's standard (3) som fastställer "Bortom inloppets öppning ska flödes hastigheten hållas hög för att minimera förlusten av föroreningar". Det är en mängd faktorer som bidrar till utfällning på rörväggarna. Den mest iögonfallande mekanismen inkluderar kristallisering härrörande från förändringar i lösligheten, sedimentering/fällning från tyngdkraften och hydrodynamiska krafter, och elektrostatisk attraktion av laddade partiklar till rörväggen. Referens (6) behandlar i detalj ett antal teorier relaterade till utfällningar på vätskeytors gränsskikt.

Utfällningar av föroreningar från överhettad ånga har studerats och dokumenterats sedan tidigt 1960-tal. Detta fenomen kännetecknas av en minskning av lösligheten av föreningar i överhettad ånga pga minskad temperatur. Flera forskare kom fram till att en betydande andel av de ångburna föroreningarna inte nådde fram till analysatorerna. Samma forskare kom fram till att en signifikant andel av de **natriumbaserade (Na⁺)** föroreningar kunde återadsorberas*¹ när ledningen blev kyld och fylld med kondensat. Vid provtagning av mättad ånga bör inte följden bli kristallisation från övermättnings, eftersom kondensering inträffar vid mindre temperaturändringar och de flesta föroreningar är mer lösliga i kondensat än ånga. Därför kommer utfällning från mättad ånga vara mer beroende på utfällning och elektrostatisk attraktion.

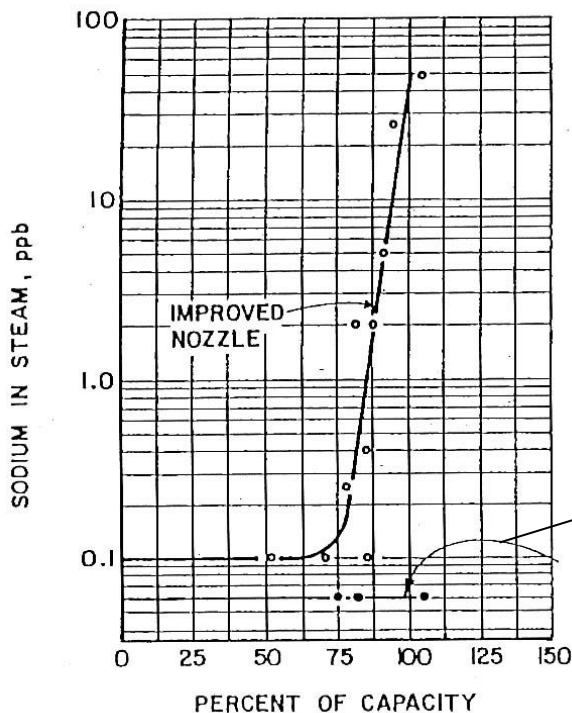
4.1 Provtagning och analys utförs på icke-representativa prover

Insamling av ett representativt prov för överhettad ånga är inte svårt, men att upprätthålla oförändrad provsammansättning mellan provtagningssondens utlopp och kondensationens slutpunkt kan inte genomföras med konventionell utrustning.

En undersökning identifierade och dokumenterade detta provtagningsproblem och föreslog en praktisk lösning. Strategin var att ta bort överhettningen ur provet i provtagningssonden innan någon utfällning kan inträffa. Detta utfördes med injektion av kondenserat prov in i provtagningssonden. Tillskott av vatten (kondenserat prov) omvandlade effektivt provet till mättad ånga och vatten, och föroreningarna stannade kvar i lösningen som vattenfas. Användning av kondenserat prov eliminerar risken för möjlig kontaminering av provet.

¹ Adsorbera: Upptaga på sin yta
Adsorption: Vissa ämnens förmåga att vid sin yta binda molekyler av andra ämnen

I ett försök med ånggeneratorsystem visade testerna att halterna av natrium var avsevärt högre vid belastningsförändringar. Med tidigare konventionell provtagning indikerade **alla** data att natriumhalten (Na^+) var mindre än 0,1 ppb vid alla belastningsförändringar. Med återcirkulerad vatteninjektion var natriumhalten 2 ppb (88 % belastning), alltså avsevärt högre än 0,1 ppb med provtagning utan återcirkulerad vatteninjektion. Försöken i Figur 6 visade att halterna av natrium varierade med belastningen, och var mellan 20-30 ppb (Na^+) vid 100 % belastning.



Figur 6:
Jämförelse mellan en förbättrad provtagningssond inkl. återcirkulerad vatteninjektion med en i standardutförande utan vatteninjektion.
Källa: Referens 12

Standard utförande av provtagningssond
Alla värden under 0,1 ppb.

En typisk metod för provtagning i kraftverk av överhettad ånga består inte av provtagningssonden som rekommenderas av ASTM-ASME. Detta visar att provtagningen i överhettad ånga i de flesta fall utförs på icke-representativa prover.

Provtagning på överhettad ånga med provtagningssond med återcirkulation kan göras på några olika sätt, t ex enligt följande:

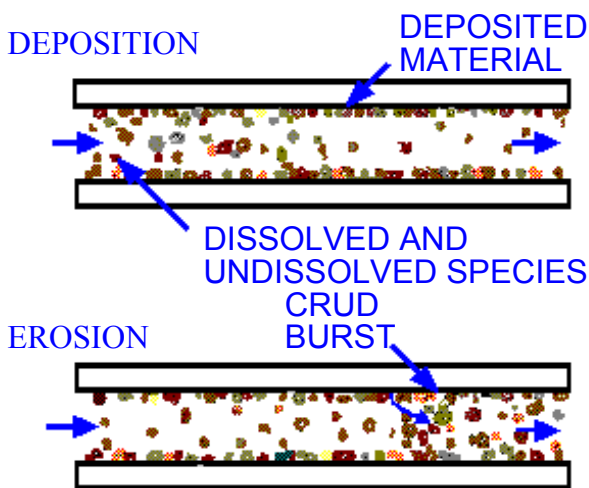
- Återcirkulation direkt in i provtagningssonden via kylslinga med självcirkulation.
- Återcirkulation direkt in i provtagningssonden via kylslinga med pump.
- Återcirkulation direkt efter isoleringsventilen via kylare med pump.

Fördelar och nackdelar för dessa, hänvisas vidare till EPRI 2412-2, Sektion 2.

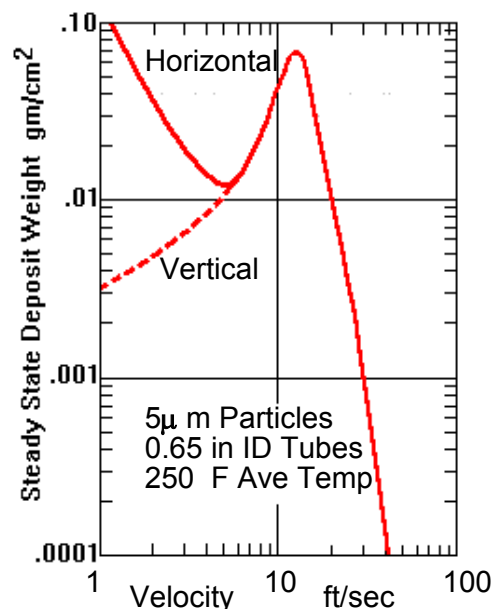
4.2 Förändringar av provet under transport

Utfällningar blir följden när partiklar transporteras i omedelbar närhet av rörets innerväggar, via vätskevirvlar, av tröghetsmoment över gränsskiktet, diffusion och gravitation. En del av partiklarna som når rörväggen kommer att vidhäfta (fastna). En teoretisk "vidhäftnings sannolikhet" används för att avgöra om partiklarna kommer att avsätta sig på rörväggen. En del partiklar som fastnat, kommer senare att erodera bort från rörväggen via vattnets dragkraft. Dessa eroderade partiklar återinträder till vattenströmmen. En vanlig teori är att både hastigheten av avsättningen och hastigheten av erosionen ökar med ökad hastighet. Flera forskare har observerat, att med vattenflöden i närheten av 1,8 m/sekund uppnås jämvikten på utfällningarnas vikt (the steady state deposit weight), som då är minimal. Minimala utfällningar är önskvärdt pga att det når jämvikt på kortare tid och anses mindre känslig för s.k. "Crud bursts" (som innebär att stora mängder föroreningar släpper på en gång) när ett område av tidigare utfällt material sveps in i flödet. EPRI (1) rekommenderar för närvarande 1,8 m/sekund (6 fot/sekund) som transporthastighet för vattenprover. Kondensatet som kommer från ångprover har inte uttryckligen adresserats, men många sakkunniga i provtagning från kraftverksindustrin anser att flödes hastigheten ska upprätthållas i närheten av 1,8 m/sekund (6 fot/sekund). Ett primärt berättigande för denna slutledning är att man har observerat en avsevärd uppbyggnad av föroreningar i kondensatledningar efter att de blivit isärtagna. Dessutom har driftspersonal ofta erfarenhet av signifikanta mängder av partiklar under spolning av deras provtagningsledningar för lågtrycksånga.

Eftersom flödet i en provtagningsledning för ånga ändras utmed röret, kommer jämviktsförhållanden av utfällningarnas vikt och vätskeflödets hastighet att ändras med positionen. Provets hastighet är långsammare när provet kondenserar. Långsammare flödes hastighet och långsammare ökning av tryckfallet, gynnar erosions hastigheten med motsvarande högre jämviktsförhållanden av utfällningarnas vikt.



Figur 7: Utfällningar jämfört med erosion i provtagningsledningar.



Figur 8: Vätskeflödets påverkan av flödes hastigheten på utfällningarnas vikt. Källa: Referens 6.

Det har diskuterats om jämvikten på utfällningarnas vikt (steady state deposit weight) är mer beroende av flödets Reynoldstal istället för flödeshastigheten. Teorin med flödeshastighet förespråkas nu av flera parter inklusive en EPRI-konsult. Eftersom Reynoldstalet är proportionellt till produkten av hastigheten gånger vätskediametern anger denna teori att mindre hastigheter kan tolereras i ledningar med större diameter. Rommelfaenger E. Sentry Equipment Corp. (11) har inte kunnat hitta något publicerat resultat som visar Reynoldstalets beroende.

4.3 FLÖDESFÖRÄNDRINGAR

Förändringar av provets flöde resulterar i hastighetsförändringar proportionellt till flödeshastigheten. En förändring i flödet på ett ångprov kommer att resultera i en förändring i kondenseringslängden. Omväxlande områden av tvåfasflöden kommer att skifta längs provtagningsledningen. Områden i rören som har vattenflöden kan möta tvåfasflöden med ett högre flöde. Beräkningar visar att flödesförändringar på 10 % kan orsaka hastighetsförändringar med faktor 2 eller 3 i områden nära fullständigt kondenseringslängd.

De flesta områden med tvåfasflöden har stabila flödeshastigheter. Vatten- och ånghastigheten i ringformiga och bubbliga flödesområden är båda, någorlunda konstant över tid. Områden med ett skummande kärnflöde genomgår ofta förändringar i flödeshastighet när stora bubblor passerar. Undersökningar av dessa flödesområden visar vätskans hastighetsförändringar, som konstant accelererar och minskar i hastighet. Teorier för tvåfasflöden visar att områden med skummande kärnflöden uppstår när ångvolymen upptar ca 50 % av rörets tvärsnittsarea. Beräkningar av tomrumsfraktioner från Thom's (7) försök visar att detta uppstår vid lågkvalitetsånga och i den sista delen av kondenseringslängden. En liten ökning av flödet kommer att leda till en förflyttning av området med skummande kärnflöde till ett område som tidigare endast var ett vattenflöde. En minskning i flödeshastigheten kommer att leda till att vattenflödet befinner sig i områden som tidigare hade ett skummande kärnflöde. Teorier för utfällningar vidhåller att det finns en balans av utfällningarnas vikt och flödeshastigheten för ett jämviktsläge av provtagningsledningen. Förändringar i flödesbalansen kommer att störa detta jämviktsläge och resultera i antingen en ökad erosion eller bilda ytterligare utfällningar.

4.3.1 FLÖDESHASTIGHETER FÖR ÅNGA OCH VATTEN

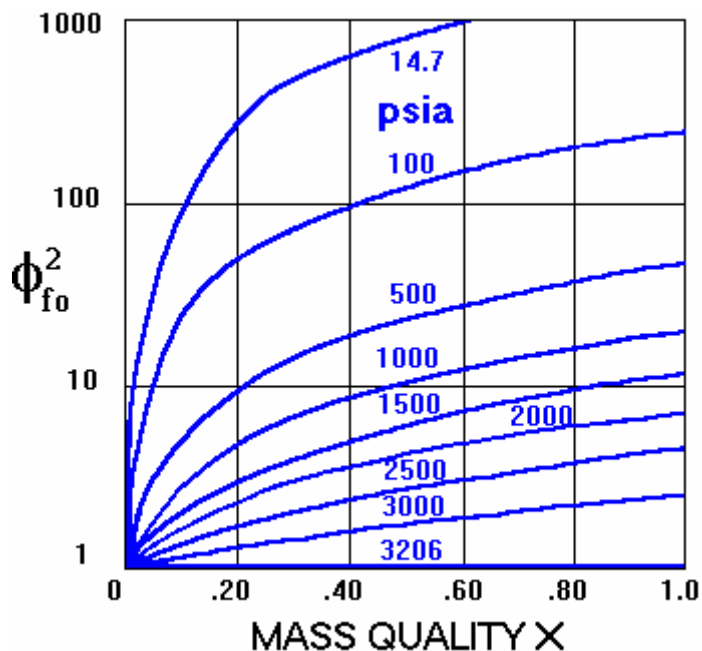
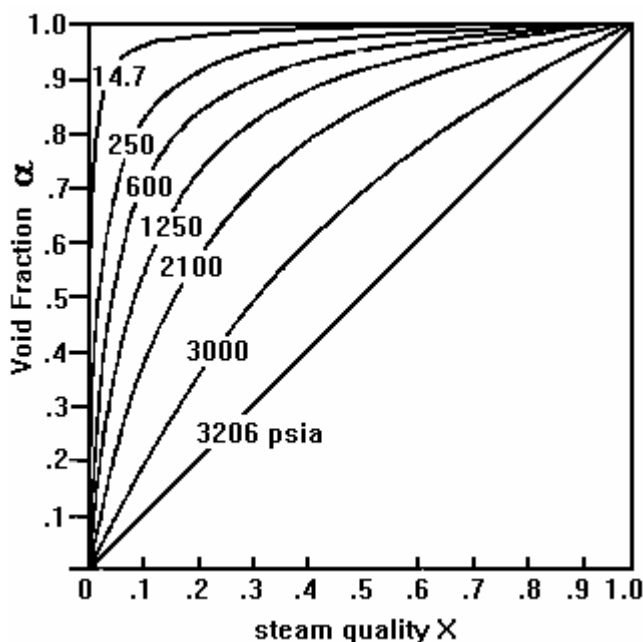
För bibehållandet av massa krävs en konstant diameter på provtagningsledningen och en konstant flödes hastighet på ångan som förs in i ledningen, det är förhållandet av vattnets densitet och ångans densitet (ρ_f/ρ_g) multiplicerat med flödes hastigheten på kondensatet i provtagningspanelen. Detta förhållande visas för några representativa ångtryck i tabell 1. Från tabellen kan beräknas att ånghastigheten nära 460 m/sekund (1500 ft/sekund) krävs för att producera ett kondensatflöde med 1,8 m/sekund från ett ångprov med 6,7 bar (100 psia). Det är uppenbart att flödes hastigheten som behövs för lågtrycksånga inte kommer att uppnås och resultera i ett dåligt vattenflöde.

Tabell 1:
 Densitetsförhållanden vatten till ånga

Tryck(psia)	ρ_f/ρ_g
100	250
200	124
300	82
400	60
500	32
1000	21
1500	12
2000	7.3
2500	4.6
2800	3.3

4.3.2 MODELLER FÖR TVÅFASFLÖDEN

Eftersom sammansättningen av provet kontinuerligt förändras, kräver all analys av provflödet utvärdering av åtskilliga positioner. Rommelfaenger, E. Sentry Equipment Corp. (11) utvecklade ett datorprogram som använde teorier för tvåfasflöden för att modellera flöden. Provtagningsledningen är uppdelad i flera stegvis ökande längdenheter. Beräkningar har gjorts för flytegenskaper, tryckfall och värmeförluster för varje längdenhet.



Figur 9 Voidhalt (void fraction) jämfört med ångkvalitet

Källa: Referens 7

Figur 10: Tvåfas friktionsfaktor beräknad med Butterworth's formel

Thom (7) använder data från försök för att bestämma friktionsfaktorer för flöden med ång- och vattenblandningar i rörledningar. Han bevisade att ångflöden strömmar betydligt snabbare än vatten och följaktligen tar upp en mindre del av rörets

tvärsnittsarea, än vad som skulle kunna förutsägas vid användande av ångkvalitet. Thom formulerade ett glidförhållande, som är förhållandet av ånghastigheten mot vattenhastigheten som en funktion av ångtryck och densitet. Butterworth (8) utvecklade ett uttryck för voidvolymen (hålrumsvolymen) som passade Thoms data. Butterworth framlade också en ekvation som passade Thoms samband med tryckfall. En tvåfas friktionsfaktor användes för att fastställa tvåfas tryckfall på grund av friktionen som en multiplikator av tryckfallet orsakat av vätskeflödet själv. Butterworths ekvation visas som kurvor i figur 10.

5 DIMENSIONERA LEDNINGAR / LEDNINGSDIMENSIONER

Tabell 2^{2*} sammanfattar en serie av beräkningar utförda för att dimensionera provtagningsledningar för ånga. 3 st förhållandevis standardmässiga rördimensioner blev utvärderade vid 9 olika separat tryck för 3 typiska flöden för mättad ånga och 3 st flöden för överhettad ånga vid varje tryck. Alla provflödes hastigheter refererar till ett kondensat kylt till 25°C.

Det är vedertaget att ångburna föroreningar faller ut på torra ytor i den delen av provtagningsledningen som är överhettad. Därför rekommenderas att överhettad ånga ska avlägsnas från ångledningen, inuti eller så nära provtagningssonden som möjligt. I vilket fall som helst, ett stort antal provtagningsledningar med överhettad ånga är fortfarande utan kondensatinjektion eller annan mekanism för att ta bort överhettningen ur ångan. Därför är rördimensioner för överhettad ånga inkluderade i tabellen. Dimensioner, längder och flöden är listade och är baserat endast på mekaniska avseenden och bör inte tolkas som en garanti för praktisk hantering av överhettad ånga utan en mekanism för att spola bort föroreningarna från rörväggen.

Tabell 2* inkluderar följande:

1. Rekommenderad max längd (max L) på röret för ett visst tryck och flödes hastighet. Ett N.R. i denna kolumn anger att dimensionen för provtagningsledningen inte rekommenderas för någon längd.
2. Längden då all ånga har kondenserats (cond L). En (*) i denna kolumn anger att ångan inte är fullt kondenserad vid rekommenderad max längd.
3. Maximal flödes hastighet på ångan (steam V_{max}) i rekommenderad längd.
4. Flödes hastigheten på ett kondensat vid en längd av 150 m (cond V_{min}). Eftersom densiteten på vatten varierar med temperaturen, alla provtagningsrör som är kortare än 150 m borde ha ett toppflöde något högre än detta värde, skulle längre rör ha långsammare flöden. Enligt ovan en (*) i denna kolumn anger att ångan inte är fullt kondenserad vid rekommenderad max längd eller inte har kondenserat inom 150 m.

² *) Vi har inte tillåtelse publicera tabell 2 i detta dokument. Tabell 2 kan hämtas från Oleinotec's hemsida www.oleinotec.se

5.1 RIKTLINJER FÖR PROVTAGNING

Ångflödets provtagningsdimensioner ska vara fastställd för att upprätthålla en isokinetisk provtagning med provtagningssonden för ånga. Provtagningsledningens storlek måste vara anpassad för att leverera detta, men inte markant överdimensionerad. Överdimensionerade provtagningsledningar resulterar i en ökad area för värmeförluster med hastig kondensation av provet. Om provtagningsledningen är lång, kan provet kondensera fullständigt med följden av ett extremt långsamt vätskeflöde. Ett långsamt flöde gynnar avsättning på rörväggarna och orsakar ett lång tidsintervall innan provet når provtagningsplatsen. Underdimensionerade rörledningar kan resultera i strypning av flödet, så att det maximala flödet som kan fås understiger önskat värde. Strypning av flödet blir följden när expansionen av ångan pga tryckfall överstiger volymförlusten beroende på kondensation. Den egentliga volymökningen kräver en ökad flödes hastighet då provet fortskrider längs provtagningsledningen. Ökande flödes hastighet åtföljs av ett ökat tryckfall med ökad expansion.

När ångbildningshastigheten ökar bör provflödet öka för att behålla isokinetisk provtagning vid provtagningssonden. I vilket fall som helst, om provflödet ökar då kommer området med *kärnan* röra sig framåt i provtagningsledningen till ett område som tidigare hade ett enkelfas vätskeflöde. Denna ändring av ordningen av flödet kommer att störa jämvikten som etablerats inom provtagningsledningen och orsaka ökad erosion av tidigare utfällt material. Mycket av utfällningarna är poröst vilket tenderar att adsorbera³ väsentliga kvantiteter av lösta ämnen. Dessa ämnen frigörs med partiklar och kolloidalt material. Utlösningen av löst material kan orsaka fluktuationer/variationer av mätresultatet på analysinstrumenten. På liknande sätt avtagande i ångbildningshastighet bör åtföljas med en minskning av provflödet. Detta skulle resultera i en minskad kondenseringslängd och sörja för ytterligare utfällning av material på rörväggarna. System som har varierande provflöden bör upprätthålla flödes hastigheter på 1,8 m/sekund eller högre för att minska mängden utfällningar som beror på skrubbning från högre flödes hastigheter.

Den optimala provtagningsledningen är kort, så att fullständig kondensering inte kommer att inträffa. De högre flödes hastigheterna genom tvåfasflödet, spolar effektivt rörets väggar och förebygger överdriven utfällning och "plate out" (fälla ut). I vilket fall som helst, många provtagningsledningar har längder som överstiger 150 m. Ofta resulterar dessa långa provtagningsledningar i fullständigt kondenserat flöde. För att reducera utfällningar i provtagningsledningen är det önskvärt att hålla en flödes hastighet i närheten av 1,8 m/sekund. Eftersom storleken på röret måste väljas baserat på ångflödet, så är kondensatets flödes hastighet ofta under önskade värden.

En annan metod att föredra är att kondensera provet så nära källan som möjligt. Och sedan dimensionera kondensatets del av ledningen för att hålla önskade flödes hastigheten på 1,8 m/sekund. Pga att det saknas tillräckligt med kylvatten nära provkällan, har få pannanläggningar använt sig av kylning vid källan.

Mättad ånga med tryck över 140 bar kan transporteras i provtagningsledningar med en rördiameter på 6 mm. Eftersom högtrycksånga har en lägre/nedre kondenseringslängd, har dessa prover ofta kondenserat fullständigt inom längden av normala provtagningsledningar. I vilket fall som helst om provflödet kan hållas nära 1200 ml/minut, då är kondensatets flödes hastighet nära önskade 1,8 m/sekund med en rördiameter på 6 mm (1/4" OD).

³ Adsorbera: Upptaga på sin yta

Adsorption: Vissa ämnens förmåga att vid sin yta binda molekyler av andra ämnen

Egna kommentar:

Flödet skiljer sig markant från de rekommendationer på 250-500 ml/min för normalt provflöde, som beskrivs i "Matarvatten del 1" (utgiven första gången 1967 och omarbetad 1985) samt "Handbok i vattenkemi för energianläggningar" 2001 (14).

Om det menas att det totala flödet i provtagningsledningen ska vara 250-500 ml/min är det långt under de vedertagna rekommendationerna i USA.

"För att i möjligaste mån undvika att partiklar sedimenterar i provtagningsledningarna bör strömningshastigheten i dessa vara hög. Ledningarna bör därför ha en inre diameter på högst 5 mm" (14).

Det anges inte hur hög strömningshastigheten ska vara.

Spolning av provtagningsledningar

Rekommendationerna om spolning av provtagningsledningar skiljer sig också markant från dem som beskrivs i "Handbok i vattenkemi för energianläggningar" 2001 (14), enligt nedanstående:

"För att försäkra sig om att provet inte påverkats i provtagningsledningarna och att det är representativt för mediet i rörledningen måste provtagningsanordningarna först spolas rena i ca 5 min med ett mycket kraftigt flöde tills provet blir varmt. Provuttagen måste bevakas så att mediet inte kokar, vilket innebär risker för personskador och skador på utrustning. Därefter ställs normalt provflöde in, 250-500 ml/min, och prov tas ut efter ca 30 min när temperaturen på provflödet är 20-25°C". "Handbok i vattenkemi för energianläggningar" 2001 (14).

Följande står att läsa i EPRI rapporten:

Spolning av provtagningsledningar är inte lämpligt eftersom det motverkar uppbyggnaden av jämvikten mellan upptag och återinträde av partiklar vid rekommenderad flödes hastighet 1,8 m/sekund (12).

Spolning av provtagningsledningar är en utbredd metod för att minimera beläggningar och skada på provtagningsmodulens komponenter och instrument. Innan provet sätts på efter ett stopp är det vanligt förekommande att våldsamt spola provtagningsledningen. Det föreslås, om det nu är nödvändigt att spola provtagningsledningen att detta utförs mycket varsamt och mjukt. Spolventilen ska öppnas sakta och spolflödet får inte överstiga provtagningsflödet med mer än 25 %. Dessa steg minimerar att fastsittande beläggningar lossnar och resulterar i en snabbare återupprättning av jämviktstillståndet av upptag och återinträde av partiklar (12).

Det ska noteras att det är vanligt förekommande att tillåta en tid för stabilisering innan prover tas för att uppnå återupprättning av jämviktstillståndet. Exempel anges till 24 timmar, beroende på provtagningsflödet och rörets dimensioner (12).

Mättad ånga med tryck på 50 - 140 bar kan transporteras i provtagningsledningar med en diameter av 10 mm (3/8" OD) till ett rimligt flöde av 1000-1300 ml/min. För att hålla ett kondensatflöde på 1,8 m/sekund behövs ett flöde på 1300 ml/min. Denna höga flödes hastighet skulle överstiga ångans berörings kapacitet av ett 10 mm rör och resultera i ytterligare kostnader på grund av ökad energi kostnad, ökat kylvatten behov, större provtagningskylare etc. Tabell 2^{4*} visar att kondensatets flödes hastighet vid ett normalt provflöde är betydligt under rekommenderade 1,8 m/sekund.

⁴ *) Vi har inte tillåtelse publicera tabell 2 i detta dokument. Tabell 2 kan hämtas från Oleinitech's hemsida www.oleinitech.se

Optimal provhantering skulle kräva antingen att provtagningsledningen skulle vara kortare än kondenseringslängden, eller en minskning av provledningens rördiameter till 6 mm (1/4" OD) för att vara bortom kondenseringslängden.

De flesta prover med mättad ånga på 35 bar eller mindre erfordrar en rörledning på minst 12 mm (1/2" OD). Dessa prover kommer att ha ett extremt långsamt kondensatflöde om provet tillåts kondensera helt. Enligt ovan ska antingen längden på ledningen vara kortare än kondenseringslängden eller så ska en minskning av rörstorleken utföras för att hålla ett tillräckligt kondensatflöde.

Om provet är fullt kondenserat innan det når provtagningspanelen har valet av provtagningskomponenter i provtagningspanelen en mycket liten effekt på flödeskapaciteten. Om flödet kommer in i panelen som ett två fasflöde, då bör komponenterna uppströms av den primära provtagningskylaren väljas baserad på behandling av ånga. Komponenter placerade nedströms av den primära kylaren kommer att behandla endast kondensat. Om möjligt bör rörledningar och komponenter dimensioneras så att kondensatets provflöde upprätthåller en flödes hastighet på 1,8 m/sekund.

På någon plats uppström av analysatorerna måste alla ångprover vara fullt kondenserade. Därefter är alla flödes hastigheter antingen för långsamma, eller så måste röret dimensioneras så att det resulterar i en godtagbar flödes hastighet. Beräkningar på provtagningskylare som använder samma program visar att provtagningskylare med reducerade rördimensioner jämfört med provtagningsledningen kan ofta behandla provflödet. Detta inträffar på grund av en kombination av effekter. Följden är en kylare med reducerade flödes hastigheter eftersom en del kondensering redan har inträffat i provtagningsledningen.

Om tryckfallet inom provtagningsledningen är nominell kommer det sedan att bli en markant volym minskning före kylarens ingång. Vidare orsakar höga värmeöverföringskoefficienter på utsidan av rörets yta en hastig kondensation. De flesta ångprover är helt kondenserade inom de första 2 till 4 metrarna i provtagningskylaren. De mest representativa proverna uppträder när provet inte är fullt kondenserat förrän det är inuti provtagningskylaren, och rören nedströms har dimensionerats så att kondensatets provflöde upprätthåller en flödes hastighet på 1,8 m/sekund.

Försök har bekräftat datorberäkningar som visar att en utvändigt rördiameter på 6 mm i provtagningskylaren kan kondensera något mer än 0,5 liter/min vid 8 bars ånga. Begränsande faktor är att allt tillgängligt tryckfall förbrukas inuti provtagningskylaren. En tunn vägg med utvändigt rördiameter på 10 mm i kylaren har ca. 4 gånger rörets tvärsnittsarea, så den kan behandla över 1200 ml/min vid 8 bar. Större rör i provtagningskylaren kan ge ytterligare flödeskapacitet för lågtrycks ånga, hur som helst så leder det till vätskeflöden som nästan alltid blir mindre än vad som kan fås ut genom användning med provtagningskylaren med utvändigt rördiameter på 6 mm. Valet av en optimal provtagningskylare beror på önskad flödes hastighet, provtagningsledningens dimensioner och längd.

Följande är metoder som kan öka uppnåeligt flödes hastighet vid prover på lågtrycksångor:

1. Dimensionera provtagningsledningen för att leverera prov till nominellt tryckfall. Upprätthåll maximal ånghastighet till 30 m/sekund eller mindre.
2. Använd stor radie för rörböjar istället för 90° kopplingar och krökar.

3. Använd en fullport (kulventil eller plugg) isoleringsventil vid provtagningspanelen.
4. Behåll provtagningsledningens dimensioner ända fram till primära provtagningskylaren.
5. Minimera antalet rörböjar uppströms från den primära provtagningskylaren.
6. Använd en provtagningskylare med tunnväggig 10 mm rör för den primära kylaren (se även stycket om provtagningskylare)

Isolering av provtagningsledningar kan vara nödvändigt för personskydd. Tillägg av isolering kan minska värme förluster från rörets yta och öka kondenseringslängden på röret. Isolering brukar vanligtvis resultera i ett högre tryckfall i provtagningsledningen, men kan vara en metod för förebygga en långsam flödes hastighet vid ett fullt kondenserat prov. Utvärdering av möjliga fördelar med isolering fortsätter.

Det har varit svårt att lyckas få fram driftdata för att verifiera teoretiska resultat. Aktuell tabell är väl övervägd som första försök för att dimensioneringsrekommendationer. Modeller för tryckfall och värmeförluster för närvarande motsvarar ganska bra med tillgängliga fälldata.

5.2 ANTAGANDEN OM RÖRDIMENSIONER

De data som redogörs i detta föredrag är baserat på datorberäkningar. Många antaganden har implementerats i detta arbete. Den mest betydelsefulla av dessa inkluderar följande.

Rörledningar anses ha en genomsnittlig innerdiameter som utgår från nominellt dimensionerad ytterdiameter och genomsnittlig väggjocklek. (6,35 mm ytterdiameter x 1,24 mm genomsnittlig väggjocklek har en genomsnittlig innerdiameter på 3,86 mm)

$$1/4" = 6,35 \text{ mm}$$

$$0,049" = 1,2446 \text{ mm}$$

$$0,152" = 3,8608 \text{ mm}$$

Kommersiella rörledningar är specificerade via ytterdiametern och genomsnittlig, eller minsta möjliga väggjocklek. Standardtoleransen på väggjockleken är $\pm 10\%$ för en genomsnittlig vägg: $+20\%$, -0 för minsta möjliga väggjocklek. För typiska dimensioner man stöter på för provtagning är toleransen för ytterdiametern $\pm 0,10$ mm. Därför är omfånget för innerdiametern för $1/4"$ ytterdiameter x $0,049"$ genomsnittlig väggjocklek är 3,51 mm till 4,21 mm. Detta representerar en variation på innerdiameterens area på $+19\%$ till -17% från nominellt utan att beakta ovaliteten. Bibehållandet av massa erfordrar att hastigheten för ett given flödes hastighet varierar med samma procenttal.

Lokala egenskaper på ånga och vatten (densitet, entalpi, viskositet, termisk konduktivitet, Prandtl tal och ytspänning) är erhållna från värden publicerat i "NBS/NRC Steam Tables" (9). För interpolation av data användes 80 st värden för tryck som resulterade i alla beräknade värden inom 1% för temperaturer mer än 15°F borttaget från den kritiska temperaturen. Ytterligare data har lagts till i den kritiska temperaturregionen för att ge förbättrade egenskaper. Emellertid, på grund av för snabb förändring av värdena för Prandtl tal, konduktivitet och viskositet nära det kritiska området, finns fel över 1% . Alla interpoleringar är baserade på egenskaper på de fem närmaste värdena för tryck.

Isotermiska egenskaper är antagna tvärsöver hela rörets tvärsnitt. Litteratur visar att även för lågkvalitetsånga är en majoritet av arean fylld med ånga. Eftersom vattenfraktionen är låg, är filmens tjocklek på insidan av röret tunn. Ångflödets normala sammanstötning i provtagningsledningen är viktigare än det infångade flödet där en stor del av vätskan kommer att följa med som droppar i ångflödet. Vätskedropparna står för en stor värmeöverförings area för temperatur jämvikten. En hög hastighet av dropparnas inneslutning och återabsorbering i vätskefilmen kommer att resultera i att vätske- och ångtemperaturen förbli nära.

Värmeöverförings koefficienter för kondensering har normalt stora värden. Därför är provtagningsledningarna som man normalt stöter på i kraftverk/pannanläggningar styrt av värmeförluster på rörets utsida. Värmeöverföringen från ytans utsidan är en kombination av fri konvektion och strålning. Koefficienter för fri konvektion har beräknats för horisontella rör utan angränsande hinder. Strålningsförluster är övervägda till en oxiderad rostfri stålyta med ett strålningstal på 0,85. Omgivningens förhållanden är övervägda till 90°F för alla förhållanden. Inre värmöverförings koefficienter beräknades baserat på ett ringformigt flöde med en tunn vätskefilm. Värmeöverförings koefficienter för kondensering är bestämd enligt Kosky och Staub (10).

Tryckfallsberäkningar är baserat på försök utfört av Thom under 1950-talet och 1960-talet. Dessa försök var för tryckfall på ång och vatten blandning under kokning. Emellertid, så har flera välkända experter i området för tvåfasflöden, tilltro till att det är den mest noggranna metod som är tillgänglig för ång/vatten blandningar under både kondensering och kokning. Formuleringarna som används är

baserat på kurvor från Butterworth. Tryckfallsberäkningar är baserade på raka längder och inkluderar inte begränsade förluster för rot isoleringsventiler, vinklar eller rör böjar. Effekterna av isolering eller värmeförluster från hållare har inte övervägts. System som har hög värmeförlust eller tryckfall på grund av avvikande konstruktion bör överväga eventuella följder på hela provtagningskonstruktionen.

Ett annat problem som måste övervägas är "open air" installationer med högst varierande strålningsförluster.

Ventiler, pumpar och bestämmelser för anslutningen

Det är ytterst viktigt att alla provtagningskomponenter i provtagningsystem är förorenings fria, kunna tåla hårda påfrestningar, och ska vara i överensstämmelse med tillämpliga standarder. Sektion 8 i ASTM D 1192 ger mer information.

6 PROVTAGNINGSBEHANDLING OCH PROVTAGNINGSKOMPONENTER

Provtagningskylning ska alltid utföras före tryckreduceringen så att avspänningsånga (ånga som vid trycksänkning frigörs ur varm vätska) inte bildar beläggningar. Prover från vatten och mättad ånga ska behandlas på samma sätt. Förkylare ska placeras så nära provtagningspunkten som möjligt och kyla provet till ca 37°C. Kylanläggningar och isotermisk bad, ska placeras så nära analysatorerna och uttaget för manuella prover som möjligt, och kylas till 25°C. ASTM standarder rekommenderar provtagningsbehandling av överhettad ånga på ett något annorlunda sätt. Medan provet fortfarande är i provtagningsmunstycket, ska överhettningen avlägsnas genom injektion genom munstycket med en liten del av det kondenserade provet. Återcirkulation utförs antingen med naturlig kraft eller med hjälpmedel. För naturlig cirkulation används skillnaden mellan kylslungan och provtagningssonden som framkallar uppbyggnad av vattensug som gynnar cirkulationen. Cirkulation med hjälpmedel kräver användning av en pump, och är därför enklare att styra och föredras därför. Cirkulationssystem med hjälpande kraft visas i Figur 4.

6.1 Utrustning för tryckreducering (reglering/justering av flöde och tryck)

De flesta analysatorer för kontinuerlig mätning är känsliga för provtagningsflödet, och för noggrann mätning måste tillverkarens instruktioner uppfyllas med flödesreglering/justering. Vanligtvis är on-line instrumenten konstruerade med flödesreglering/justering, men dessa online utrustningar är inte alltid tillförlitliga. Ett rekommenderat minimiflöde för manuell provtagning är 300 ml/min. Men aktuellt flöde bör styras av det flöde som krävs för att bibehålla överskottsflöde till avlopp som ger en flödes hastighet i provtagningsledningen på 1,8 meter/sekund.

Flödeskontroll vid automatisk provtagning är viktigt för att hjälpa till att säkerställa kvaliteten på provet och repeterbarheten för analysresultaten. Konstant flöde i provtagningsledningen minimerar risken för förändringar av provets sammansättning genom infångade och/eller frigörelse av lösliga ämnen från utfällningar i systemet. Analysatorernas repeterbarhet stärks när flödet genom sensorn förblir konstant.

Tryckregleringsutrustning måste vara konstruerad för att bibehålla ett konstant flöde till analysatorerna under normal drift, igångkörning eller vid belastningsförändringar. Av den mängd med tryckregleringsutrustningar som förekommer, behandlas här 3 typer enligt följande:

- Nålventiler
- Stav-i-kapillärrör design (används med mottrycksventiler)
- Utrustning för konstant fallhöjd (överströmning)

Nålventiler är lämpliga för reducering av provtryck upp till 34 bar. Vid tryck i närheten av det kritiska trycket har nålventiler visat sig orsaka dissociation (sönderdelning) av vatten. Detta är ett oönskat förhållande som orsakar ett tillskott av halten väte och syre i vattnet. Dessutom orsakar nålventiler vid dessa tryck ventilerosion och kavitation som leder till ventilslitage av ventilsäte och intensivt underhåll eller undermålig funktion. Nålventiler är ofta svåra att rengöra.

Reducerventiler med "stav-i- kapillärrör" design är tillgängliga i två utföranden:

1. En "fast stav-i-kapillärrör" design kräver konstant justering beroende av förändringar i trycket. Kapillärerna har en tendens att sätta igen på grund av en orörlig design, och blir därför svår att rengöra.
2. En "justerbar stav-i-kapillärrör" design är effektiv över ett större tryckområde än en "fast stav-i-kapillärrör" på grund av den ger ett justerbart tryckfall. Dessutom är det justerbara stav donet enklare att rengöra, då det kan utföras on-line. Ibland kan kapillären sätta igen från s.k. "Crud bursts" (som innebär att stora mängder föroreningar släpper på en gång) som frigörs pannanläggningens processledningar vid igångkörningar eller driftförändringar. När "fast stav-i-kapillärrör" sätter igen, måste provtagningsledningen stängas av för att ta isär komponenten för rengöring. Denna igensättning uppstår ofta vid igångkörning av pannan, vid en tid då korrekt analys är kritisk och driftstopp för att rengöra tryckreducering är ett verkligt problem. Då har "justerbar stav-i-kapillärrör" design och nålventil fördelen att kunna öppnas under drift och låta föroreningarna passera igenom.

Det är ytterst viktigt att använda en mottrycksventil tillsammans med en reducereventilen för att sörja för ett konstant flöde. Det bästa sättet att etablera ett konstant flöde är att etablera en zon av konstant tryck i provtagningsutrustningen, så att förändringar i provtillförsel eller behov inte förändrar provflödets karaktäristik till analysatorerna. För att åstadkomma denna zon av konstant tryck används någon av ovannämnda tryckreduceringsutrustningar (vanligtvis nålventil upp till 34 bar eller "justerbar stav-i-kapillärrör" design) kombinerat med en mottrycksregleringsventil som säkerställer ett konstant flöde till analysatorerna även om ursprungstrycket varierar. (Förtrycksventiler som sköter både tryckreducering och tryckreglering ska inte förväxlas med mottrycksregleringsventiler. De klarar inte att hålla konstant provflöde om analysatorns flödesberoende varierar. Dessutom är det vanligt med erosion i ventilsätena i högtrycksapplikationer som skapar brist på tryckreglering).

Mottrycksventilen fungerar genom att reglera trycket före den. När trycket är reglerat, kommer det önskade konstanta flödesbehovet att uppfyllas. Om upphovs trycket förblir konstant som det är i de flesta kraftverk, kommer flödet i provtagningsledningen att förbli konstant. Genom att använda regulatorns utloppsflöde för manuell provtagning förblir systemet enkelt.

Utrustning för konstant fallhöjd (överströmning) har framgångsrikt använts för att förse givare och analysatorer med prov. Denna utrustning använder atmosfärstrycket för flödesreglering och har

en konstant fallhöjd. Omedelbart uppströms av analysatorn, sitter ett vertikalt rör placerat med en nålventil på någondera av sidorna för ger en 0,5 till 3 meter statisk vattenpelare. En öppen behållare är placerad på toppen av det vertikala röret som har tilluppgift att samla det överflödande vattnet. Det överflödande vattnet kan föras till avlopp eller helst kan det återföras in i vatten & ångcykeln (tex sektionen för avluftning av kondensorn). Det är ytterst viktigt att försäkra ett överflöde under alla omständigheter för att undvika förorening av provet. Utrustning med konstant fallhöjd (överströmning) inkluderas eller byggs in ibland vid leveranser av analysatorer. Deras stora fördel är att de är tillförlitliga. En primär nackdel är att de inte kan ge något stort ingångstryck och kan därför inte användas för analysatorer som kräver ett tryck på 0,3-1,5 bar.

6.2 Filter

Den bästa lösningen är att köra ett "rent" system. Dvs etablera ett provflöde som håller föroreningar borta från att falla ut i provtagningsledningen under normal drift. EPRI rekommenderar ett flöde av 1,8 meter/sekund för provtagning. Genom att hålla en tillräcklig flödeshastighet i provtagningsledningen, kommer olösta partiklar att svepa med i systemet till avloppsrännan eller återvinningsbehållaren. Om det är nödvändigt kan ett filter installeras i delflödet till analysatorn. Eftersom 90% eller mer av föroreningarna kommer att passera huvudledningen, kommer filtret att utsättas för en liten procent av den totala partikelsubstansen. Eftersom igensättning är mest besvärligast vid igångkörning, bör provtagningsledningen spolas grundligt efter varje igångkörning innan ledningen sätts i bruk. För vissa analysatorer erfordras mikron filter direkt före analysatorn. Tillverkarens rekommendationer bör kontrolleras i samband med installation av filter.

6.3 Provtagningsmoduler/paneler

Bilaga 1 visar flödesschemat för en typisk provtagningspanel. De flesta provtagningspaneler inkluderar följande komponenter:

- Primär kylare
- Första tryckreduceringen
- Säkerhetsventil/ reduceringsventil
- (Sekundär kylare)
- Ventiler för att justera flödet
- Tryckmätare, temperaturmätare och flödesmätare
- Analysatorer och mätceller
- avloppsränna

Uppbyggnad och rekommendationer för provtagnings- och analyssystem ryms inte i denna rapport, då det är för ett omfattande ämne och bör istället tilldelas en separat rapport.

Analysatormodulen/panelen är vanligtvis placerad som en separat enhet. Dessutom är miljön inuti det utrymme som de känsliga analysatorerna står, enklare att kontrollera om en central placering väljs för modulerna/panelerna. Lokal placering av provtagningspanelerna har en fördel genom kortare provtagningsledningar. Men en centralt placerad provtagningspanel är överlägsen när det gäller underhåll och drift. Rödrugning, rör och anslutningar ska anordnas så att instrument eller utrustning kan avlägsnas, underhållas eller kalibreras utan störas av närliggande rödrugning och rör.

Luften i provtagningsrummet bör vara filtrerad och hålla ett lätt övertryck för att hålla damm nivåerna låga. Dessutom bör den relativa fuktigheten ligga mellan 50% till 70% och temperaturen

mellan 18°C och 26°C. Utrustning som bullrar och vibrerar bör placeras utanför provtagningsrummet för att hålla ljudnivåer och vibrationer till ett minimum.

6.4 Säkerhetsutrustning

För personsäkerhet utrustas provtagningspanelerna med säkerhetsutrustning för att skydda personal och analysatorer mot höga temperaturer och tryck. Det förekommer tex att kylvatten pumpar av någon anledning får spänningsbortfall. Då går inte kylvatten längre genom kylarna men flödet av okyld ånga och vatten fortsätter. Driftpersonal får ett larm, samtidigt som personalen är på väg, så börjar rummet fyllas med 120°C ånga. Om personalen hinner i tid (kan vara utan belysning vid strömavbrott) kan analysatorer och annan utrustning räddas utan "brännskador" på personalen. Bortfall av kylvatten är bara en av många situationer som sätter personal och utrustning i fara. Höga kylvatten temperaturer, otillräckligt kylvattenflöde, bristning i kylvatten slingan och beläggningar eller igensättning av kylaren är faktorer som är potentiella orsaker till hög temperatur. Säkerhetsutrustning ska kontrolleras med schemalagd periodisk kontroll 2 gånger per år.

Syftet med utrustning för skydd mot höga temperaturer är att:

- förhindra skador på personal
- förhindra skador på analysatorer och givare
- förhindra skador på provtagningskomponenter som tex kylare, mottrycksregulator etc
- förhindra utströmning av ånga i provtagningsrummet

Här behandlas 3 typer av utrustningar för temperaturskydd enligt följande:

- Magnetventiler
- Luftstyrda ventiler
- Självverkande termiska avstängningsventiler

Utrustning för temperaturskydd ska klara höga provtryck, pannans konstruktionstryck vilket kan vara upp till 200 bar. De ska ge kontaktfunktion för externt alarm och vara återställningsbara. Magnetventiler och luftstyrda ventiler styrs via temperaturgivare och temperaturtransmitter där önskad tillslagstemperatur kan ställas in och även ge alarmfunktion.

- Magnetventiler kräver elektrisk service, har ofta låga C_v värden och ger höga tryckfall. Dessutom har de magnetisk dragningskraft för magnetit/järn som orsakar beläggningar och igensättning.
- Luftstyrda ventiler är mer utrymmeskrävande och kräver rördragning med lufttryck eller kvävgas. Dessutom krävs magnetventiler för styrning.
- Självverkande termiska avstängningsventiler är självstyrda, mekaniska anordningar som inte behöver någon extern källa för elektricitet, tryckluft, eller hydraulik. De måste återställas manuellt efter ett tillslag. Detta säkerställer att provflödet inte återupptas, före orsaken av tillslaget har åtgärdats.

6.5 Säkerhet i provtagningsrum

Vanligtvis ingår 2 st avstängningsventiler i provtagningsledningen. En root-ventil som är placerad vid provtagningspunkten. Den andra är placerad vid intaget på provtagningspanelen. För högenergi prover som tex ånga, pannvatten och ev matarvatten rekommenderar EPRI att avstängningsventilerna före provtagningspanelen ska placeras utanför provtagningsrummet. Detta kommer att tillförsäkra ett säkert sätt att stänga av provflödet vid händelse av en läcka (skada på provtagningskomponent eller kylvatten bortfall) utan att personalen behöver gå in i ett rum fyllt med ånga (komma till skada). Ett fönster i dörren är önskvärt för att medge besiktning av rummet innan personalen går in. Under drift ska root-ventilen och avstängningsventilerna före provtagningspanelen vara antingen fullt öppna eller stängda. Strypventil i provtagningspanelen ska användas för att justera flödet till varje analysator.

6.6 Återvinning av provtagnings- och dränagevatten

Ett vanligt provtagningsystem förbrukar många kubikmeter högkvalitativt (kondensat) vatten per dag. Om inte detta vatten återanvänds kan det öka spädvatten behovet och medföra ökade driftskostnader. Oförorenat prov bör återvinnas.

6.7 Underhållsbehov

Kontroll och eventuell justering av flöde och temperatur bör övervakas för varje analysator med schemalagd periodisk kontroll. Dessutom bör provtagningsledningarnas delflöden till analysatorerna spolas regelbundet (12). Analysatorerna, instrumenten och provtagningsutrustning ska underhållas med schemalagd periodisk kontroll.

6.8 Procedurer för manuell provtagning

Manuell provtagning

Hänvisar till ASTM standards

Provtagningsbehållare

(12)

Provtagning i välbevarat skick

(12)

7 KÄLLFÖRTECKNING

1. EPRI Report No CS-5164, "Guideline Manual on Instrumentation and Control for Fossil Plant Cycle Chemistry", Final Report, April 1987
2. ASME Performance Test Code PTC19.11, "Steam and Water Sampling, Conditioning, Analysis and Leak Detection in the Power Cycle", Tentative Revision, Draft XI, dated October 1992
3. ASTM D1066-82, "Standard Practice for Sampling Steam", 1982
4. Coulter, E.E. "Sampling in Thermal Power Plants" Presented at the Electric Utility Workshop: University of Illinois at Urbana-Champaign, 1982
5. Jonas, O., Mathur, R.K., Rice, J.K. and Coulter, E.E "Development of Steam Sampling" EPRI Research Project RP 2712-8
6. EPRI Report No NP-522, "Survey of Corrosion Product Generation, Transport, and Deposition in Light Water Nuclear Reactors", Final Report, March 1979
7. Thom, J.R.S. "Prediction of Pressure Drop During Forced Circulation Boiling of Water", 1964 International Journal of Heat Mass Transfer, 7, pp 709-724
8. Butterworth, D.A. "A Comparison of Some Void-Fraction Relationships for Co-Current Gas-Liquid Flow" 1975 International Journal of Multiphase Flow, pp 845-850
9. Haar, L., Gallagher, J.S. and Kell, G.S. "NBS/NRC Steam Tables", Hemisphere Publishing Corporation, 1984
10. Kosky, P.G. and Staub, F.W. "Local Condensing Heat Transfer Coefficients in the Annular Flow Regime", 1971 AIChE Journal, 17, pp 1037-1048
11. Rommelfaenger, E. "Obtaining an Accurate Steam Analysis", Publicerad av Sentry Equipment Corporation, (1995?)*.
12. EPRI Report No 2412-2 Section 2, "Sampling and Sample Conditioning", Final Report, (1995?)
13. W. E. Allmond and S. J. Potterton. "Chemical Analysis for Fossilplant Water Chemistry." EPRI Symposium on Fossil Plant Water Chemistry, Atlanta, Georgia, June 1985.
14. Bjurström H, Carlsson B, Handbok i vattenkemi för energianläggningar, Värmeforsk 729, April 2001, avsnitt 11

Internet

1. Johansson, BO, "Omvandla mått och vikt 1", 2003,
http://hemsidor.torget.se/users/b/bohjohan/convert/conv_s.htm

*) Vi har inte tillåtelse publicera tabell 2 i detta dokument. Tabell 2 kan hämtas från Oleinitec's hemsida www.oleinitec.se