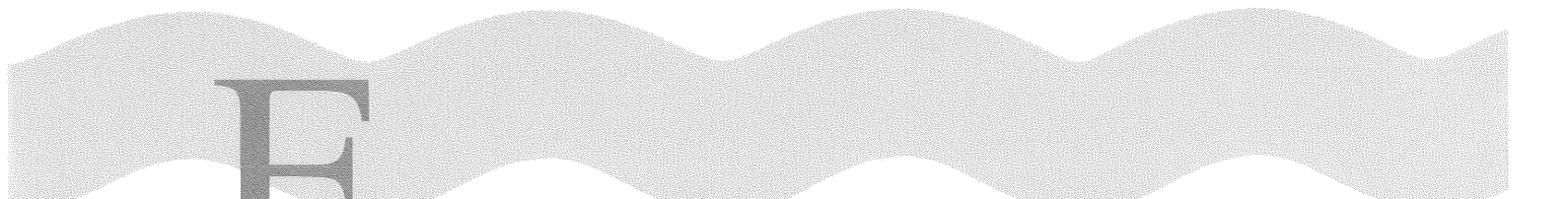




CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik

A wide, light gray wavy line that spans the width of the page, positioned above the title.

E

XAMENSARBETE / Ledningsteknik

Studier av luft i vattendistributionssystem
Fält- och laboratoriestudier

CARINA KRISTENSSON

Examensarbete 1996:4



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för vattenförsörjnings- och avloppsteknik
412 96 GÖTEBORG
Tel 031 - 772 10 00

Nyckelord: **vatten**
distributionsnät
luft
luftare
fältförsök
labförsök
beräkningar

E

XAMENSARBETE / Ledningsteknik

Studier av luft i vattendistributionssystem
Fält- och laboratoriestudier

CARINA KRISTENSSON

Examensarbete 1996:4

Innehållsförteckning

	Sida
Förord	
Va-verkets förord	
Sammanfattning	
Abstract	
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
2 Problem med luft i vattenledningsnät	3
2.1 Problembeskrivning	3
2.2 Göteborgs vattenledningsnät	4
2.2.1 Beskrivning av vattenledningsnätet i Göteborg	4
2.2.2 Luftarens funktion och utformning	4
2.2.3 Erfarenheter	5
2.2.4 Fältstudier	6
2.3 Erfarenheter från andra kommuner	7
2.3.1 Enkät	7
2.3.2 Sammanställning av enkät	8
3 Teori	11
3.1 Tidigare experiment och studier	11
3.2 Gasjämvikt i vatten	15
3.3 Beräkning av gränshastighet	16
3.3.1 Datorberäkning	16
3.4 Råd och anvisningar	17
4 Experiment	19
4.1 Testmodell	19
4.2 Mätutrustning	23
4.3 Försöksprogram	24
4.3.1 Försöksserie 1	24
4.3.2 Försöksserie 2	25
4.3.3 Kompletterande försök	25
4.4 Resultat	25
4.4.1 Försöksserie 1	25
4.4.2 Försöksserie 2	26
4.4.3 Kompletterande försök	27
4.5 Jämförelse med tidigare experiment och studier	28
5 Slutsatser	29

6	Förslag till åtgärder och fortsatta studier	31
	Referenser	33
	Bilagor	35

Figurförteckning

Figur:

1	Automatisk luftare.
2	Ledningsprofil.
3	Gardenbergers resultat enligt Mehler.
4	Kalinske och Bliss experimentresultat.
5	Rörprofil där fri vattenyta övergår till fylld sektion.
6	Minsta hastighet som krävs för att avlägsna en luftficka med volymen $\pi \times d^3/4$.
7	Typskiss av testmodell
8	Fotografi på del av testmodell.
9	Fotografi på del av testmodell.
10	Fotografi på del av testmodell.
11	Fotografi på del av mätutrustning.
12	Mätresultat från försökserie 1
13	Trendlinjer av mätresultat från försökserie 2

Tabellförteckning

Tabell:

1	Antal anslutna till vattenledningsnät, ledningslängd, antal luftare och antal luftare/ledningslängd i de kommuner som fått enkät.
2	Lufts löslighet i vatten beroende av temperatur vid 1 atm.
3	Beräknad hastighet vid maxtimma medeldygn och gränshastighet för de studerade platserna på rörnätet.
4	Rekommenderade hastighetskriterier för att utrusta vattenledning med luftningsanordning.
5	Noggrannhet vid mätning av flöde och tryck.
6	Försöksprogram för försöksserie 1 och försöksserie 2.

Bilageförteckning

Bilaga:

1	Avluftsventil Belos Hawle.
2	Typritning på luftningsanordning ur GVA B85.

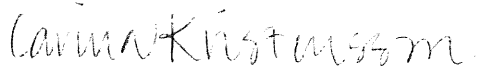
3	Ritning på luftningsanordning.
4	Följebrev
5:1-2	Enkät
6	Beräkning av löst mängd luft beroende av temperatur och tryck.
7:1-3	Exempel på beräkning av gränshastighet. Profil V400 Fjällgatan. Kartblad
8:1-2	Beräkning av erforderlig kapacitet för luftningsanordning enligt VAV.
9:1-2	Typskiss av testmodell. Fotografi på del av tesmodell.
10	Pumpkurva
11:1-2	Beräkning av luftflödet vid försök med testmodell. Kalibreringsdiagram för rotameter.
12	Mätutrustning
13:1-3	Mätresultat från försöksserie 1. Mätresultat från försöksserie 2. Mätresultat från kompletterande försök.
14:1-3	Resultat från försöksserie 1. Resultat från försöksserie 2. Trendlinjer
15	Jämförelse med tidigare experiment och studier.

Förord

Detta examensarbete är genomfört på Institutionen för Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik, Chalmers Tekniska Högskola, i samarbete med Göteborgs vatten- och avloppsverk. Va-verket har finansierat material och utrustning till försöksmodell och fältstudier. Dessutom har personal på va-verket varit till stor hjälp under arbetstidens gång.

Personer som jag speciellt vill tacka är; Gilbert Svensson på Chalmers, Helena Hallagård och Olle Ljunggren på va-verket för handledning och stöd, Tommy Rutberg på va-verket för expertis vid modellbygge, Christer Nystedt på va-verket för expertis vid mätning i utförda försök och till sist men inte minst Leif Hallberg, på va-verket, som visat stort intresse och engagemang och gjort fältstudier och försök med modell möjliga.

Göteborg i december 1996

A handwritten signature in cursive script, reading "Carina Kristensson".

Carina Kristensson

Förord

Göteborgs va-verk leverar dricksvatten till ca 450 000 personer i Göteborgsområdet. För detta finns ca 170 mil vattenledningar i olika dimensioner från 50 mm diameter upp till 1200 mm diameter.

Vid olika situationer som tex reparationsarbete på vattenledningsnätet får man in luft i systemet. För att undvika rörbrott och för att säkerställa nätets kapacitet måste luften evakueras, vilket dels kan ske manuellt via bransposter, dels via speciella luftare, som kan vara antingen automatiska eller manuella.

På Göteborgs vattenledningsnät finns ca 700 st luftare av olika typ. Flera av dessa är idag avstängda på grund av att de läcker. Vår driftavdelning kan heller inte kontrollera funktionen på alla ur arbetsskyddssynpunkt.

Vid simulering av vattenrörnätet med hjälp av en datormodell fattades misstankar om att luft fanns i huvudledningssystemet eftersom verklig kapacitet var lägre än vad den borde vara enligt modellen.

Uppenbarligen fanns anledning att utreda dels behovet av luftare, men även dimensioneringskriterier samt lämplig utformning för att möjliggöra säker tillsyn.

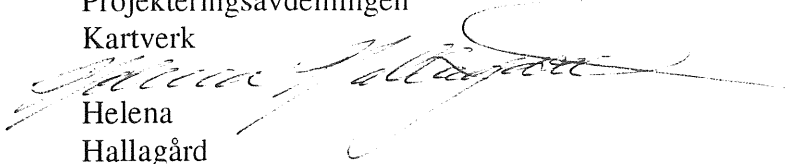
Andra frågor vi ställde oss var:

- Vad händer egentligen när man får in luft i systemet?
- Hur agerar luften vid olika förhållanden och förutsättningar?
- Kan vi ta bort några av de 700 luftarna?
- Vilka formler kan användas vid beräkning?

Delar av utredningen visade sig vara mycket lämplig som examensarbete.

På va-verket kommer vi ha stor nytta av detta examensarbete som underlag för beslut om åtgärder. Dessutom har vi fått ett unikt tillfälle att se hur luften verkligen uppträder vid olika förhållanden samt ett bra underlag för att dimensionera var, när luftare behövs samt hur de bör vara utformade.

Göteborgs va-verk
Projekteringsavdelningen
Kartverk
Helena
Hallagård



Sammanfattning

I vattendistributionssystem förekommer luft i olika former och av olika anledningar vilket skapar problem, till exempel nedsatt kapacitet, instabil strömning och vitt vatten som i sin tur ger sämre ekonomi respektive oro hos konsumenter. Avluftningsanordningar är därför placerade i höjdpunkter för att avlägsna luft vid normala driftförhållanden. Både automatiska och manuella luftningsanordningar förekommer. Idag finns ej klara riktlinjer för hur detta ska hanteras vid projektering och vilka kriterier som ska vara uppfyllda för att luftare ska sättas på vattenledningar. Vidare frågar man sig hur luften beter sig i ett vattenfyllt rörsystem under tryck.

För att utreda detta gjordes fältstudier på rörnätet, en testmodell byggdes och ett antal försök utfördes med hjälp av denna. En enkät skickades även ut till 13 kommuner runt om i Sverige för att ta del av deras erfarenheter.

Fältstudierna som gjordes visade inget tecken på att luft hade samlats i de utvalda ställena på rörnätet. Fem automatiska luftare var under en längre tid stängda för att sedan öppnas igen. Även tre manuella luftare och två brandposter öppnades för kontroll.

Enkäten gav en uppfattning om att problem med luft i vattendistributionssystem inte är vanliga vid normala driftförhållanden. Då det förekommer är det ofta i samband med att ledningen varit tom, till exempel efter reparationsarbete eller nyläggning. I allmänhet sätts automatisk luftare på huvudledningar i väl utvecklade höjdpunkter. Manuella luftare eller brandposter sätts på distributionsledningar. Dimensionskraven varierar mellan kommunerna. Regelbunden tillsyn av luftarna utförs eller ska införas i de flesta kommunerna som svarat på enkäten.

Försök med givna förutsättningar i modellen resulterade i ett kritiskt flöde/gränshastighet då luften förflyttades från modellens höjdpunkt. Gränshastigheten är beroende av dels luftvolym dels ledningslutning. Hastigheten för transport ökar med ledningslutning och luftvolym. För att överföra resultaten till verkligt rörnät med andra förhållanden krävs ytterligare teoretisk fördjupning och försök.

Abstract

Air presence in water supply systems give rise to a variety of problems. Some of the more important problems are reduction of capacity, unsteady flow and white water. The consequences are deterioration of economy and uneasiness with consumers. In general, removal of air from waterlines, may be accomplished by means of air relief valves. These are placed at the summit of a pipeline and can be either manually or automatically operated. Today no strategy for the removal of air is applied when water distribution systems are constructed. Dimension, velocity and/or slope are not taken into consideration when air valves are installed.

An inquiry was sent to several municipalities around the country in order to take part of their experiences. The answers showed that air presence in water distribution systems cause no operational difficulties. If problems do occur it is when a pipeline has been emptied and a repair has been done. The municipalities reported that automatic air valves are installed in a summit of a main and manual air valves are installed on pipes of small dimension. Regular inspection of the air valves is also performed.

Studies on the water distribution net have also been done. Fire hydrants and manual air valves were opened to study if air had been accumulated in the summit of the pipeline. Several automatic air valves were closed for a month and then opened again for observation. No air was found in pipeline at these occasions.

A part of this study was also to investigate air in a pipeline filled with water under pressure. To be able to study this a model was built and several experiments were made. The experimental results show that a critical velocity depending on volume of air and slope of the pipeline exists and governs the transport of air in a pipeline. To transfer the results to real water distribution systems requires further theoretical studies and more experiments.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

På vattenledningsnätet i Göteborgs kommun finns idag ett antal luftningsanordningar vars funktion är att avlägsna luft vid normala driftförhållanden och vid återfyllning av tömd ledning. Luftarna är karterade men ej dokumenterade på annat sätt. Exakt hur många det är finns ingen uppgift på men kan uppskattas till 600-700 stycken. Regelbunden tillsyn av luftarna utförs ej. I de brunnar där luftaren är placerad direkt på ledningen undviker man att gå ner på grund av säkerhetsskäl då tillbud har skett i samband med reparationsarbete. I väntan på utredning av luftarnas behov samt vilka åtgärder som ska vidtagas stängs de luftare som ej fungerar. I vissa fall byts luftaren ut. Vid nyläggning av vattenledning sätts idag i första hand brandpost istället för luftare. I de fall luftare sätts är inga krav på dimension, ledningslutning eller vattenhastighet uppställda.

Va-verket har alltså önskemål om att utreda behovet av de befintliga luftarna på vattenledningsnätet. Vidare utreda vilken strategi som skall användas vid projektering av vattenledningar samt i vilken omfattning tillsyn ska utföras av de befintliga luftarna. Intresse finns även för att undersöka hur detta hanteras i andra kommuner. Det finns även önskemål om att undersöka hur luft beter sig i ett vattenfylldt rörsystem. Det vill säga att med en testmodell av transparenta rör utföra experiment med luft och vattenströmning vid olika kriterier.

1.2 Syfte

I detta examensarbete ingår att utreda om vissa krav på dimension, ledningslutning och/eller hastighet ska vara uppfyllda för att ha luftningsventiler på vattenledningar. Detta ska lösas genom att få ta del av andra kommuners erfarenheter och genom att utföra försök med en testmodell. Avsikten med försöken är att undersöka vilken hastighet som krävs för att transportera luft hydrauliskt vid givna förhållanden samt att studera hur luft beter sig i ett vattenfylldt rörsystem under tryck.

Vidare ska behovet av de befintliga luftarna på dricksvattennätet undersökas. Detta ska göras med hjälp av dels fältstudier och dels en enkät. Enkäten ska skickas ut till kommuner runt om i Sverige för att undersöka deras erfarenheter angående problem med luft och strategi vid projektering. Ett antal lämpliga ställen på dricksvattennätet ska väljas ut för kontroll. Resultat från fältstudier och experiment samt sammanställning av svar på enkät ska utgöra underlag för beslut om vilka luftare som behövs och vilka som kan tas bort. Ytterligare frågor kring detta är i vilken omfattning tillsyn av luftarna ska utföras och vad som skall göras med de gamla luftningsanordningarna.

2 Problem med luft i vattenledningsnät.

2.1 Problembeskrivning

Luft som finns i vattnet kan vara absorberad från fria ytor eller inblandad genom turbulens. Luften kan vara i lösning eller i form av bubblor eller fickor. När trycket reduceras tillräckligt kan luften i lösning bilda bubblor. Dessa bubblor kan smälta samman till luftfickor i ledningens höjdpunkt. Luftfickorna kan helt eller delvis svepas med av vattenflödet, det vill säga avlägsnas hydrauliskt eller avlägsnas mekaniskt med hjälp av luftare. I en pumpgrop absorberas luft med en hastighet som beror av temperatur, tryck och hur mycket pumpen är genomdränkt. Ju högre temperatur desto mindre innehåll av luft, N_2+O_2 , i vattnet, se tabell 2 i avsnitt 3.2. Luft kan också blandas in genom turbulens i det strömmande vattnet. Ju högre ingångshastighet och större turbulens desto mer luft blandas in.

Luft kan både avsiktligt och oavsiktligt komma in i en vattenledning. De främsta orsakerna till att luftbubblor och luftfickor kan förekomma i dricksvattenledningar beskrivs kortfattat nedan.

- Enligt Henrys lag beror luftens löslighet i vatten på tryck och temperatur. Mer om detta finns att läsa i kapitel 3. Luft som är löst i vattnet övergår vid tillräckligt lågt tryck i gasform. Vid stationär drift i vattenledning med lokala höjdpunkter kan gasutlösning ske i höjdpunkterna.
- Luftfickor kan bildas vid återfyllning av tömd ledning. När en vattenledning varit tom på grund av till exempel reparationsarbete och återfylls avlägsnas luften via en brandpost. I de fall brandposten ej ligger i högsta ledningspunkt finns då risk för att luftfickor kan fastna i de lokala ledningshöjdpunkterna. Om stora mängder luft blir kvar i ledningen finns risk för att rörbrott inträffar, se exempel på detta på sidan 4.
- Otäta ledningar kan vid undertryck suga in luft.
- Trasig luftningsventil kan oavsiktligt suga in luft.
- Luftningsventiler i höjdpunkter på ledning för begränsning av undertrycksproblem.

Luft kan även sugas in i pumpledning via pumpen på grund av för låg nivå i pumpgropen vid användning av dränkbar pump. Denna typ av pump används främst i avloppssystem. I dessa system förs luft även in avsiktligt för att motverka svavelvätebildning.

Tidigare i rapporten har rörbrott nämnts som en konsekvens av luftfickor i vattenledning. Ytterligare konsekvenser kan vara att ledningen får nedsatt kapacitet vilket medför sämre ekonomi. Vidare kan luftfickor medföra instabil strömning vilket i sin tur ger upphov till ökade friktionsförluster, varierande flöde och ökad kraftpåverkan. Luft som förs in i pump kan även föranleda kavitation. Ytterligare påföljder är vitt vatten vilket orsakas av mikrobubblor och kan vara oroande för konsumenten.

Trasiga luftningsventiler kan förutom oavsiktligt suga in luft även läcka vatten. Det vatten som blir stående i brunnen kan komma in i dricksvattenledningen och då vara förorenat.

För att undvika dessa problem används vanligtvis automatiska luftningsventiler som avlägsnar luft vid normala driftförhållanden. För att avlägsna luft vid återfyllning av tömd ledning kan en manuell luftare användas. Denna kan vara en brandpost eller en spolpost. Trasiga luftningsventiler och otäta ledningar undviks enklast genom regelbunden tillsyn och läcksökning.

2.2 Göteborgs vattenledningsnät

2.2.1 Beskrivning av vattenledningsnätet i Göteborg

I Göteborgs kommun är vattenledningsnätet indelat i en lågzon, 34 högzoner och 19 övre högzoner. Krav på att vissa minimitryck ska upprätthållas leder till att man i starkt kuperade områden måste zonindela nätet. 1995 bestod vattenrörnätet av 1702 km ledning och antalet anslutna personer på nätet var 433 895. Ledningslängd per ansluten person blir 3,9 m/pe.

På hela dricksvattennätet i Göteborg finns omkring 600-700 luftare. Det finns både automatiska och manuella luftningsventiler. 1978 fanns cirka 780 stycken.¹ Ungefär 10 % av dessa i brunn vid sidan om vattenledningen och 90 % i brunn direkt på vattenledningen. Omkring 330 luftare är placerade på större dimensioner på lågzonen resten på mindre dimensioner på lågzonen och på högzonerna. Under 1980-talet utfördes översyn av vattenledningsnätet och i samband med det stängdes ett antal luftare som ej fungerade eller läckte. Dessa var förmodligen av den gamla typen med luftaren i brunn direkt på ledningen, se bilaga 2. Hur många luftare det är och vilka är ej dokumenterat. De befintliga luftarna är i flesta fall placerade i lokala höjdpunkter eller vid nedåtgående rörprofil, som till exempel dykare under vattendrag. Idag sätter man i första hand brandpost vid nyläggning. I de fall luftare installeras används numera Belos Hawle DN 1", se bilaga 1. Denna har ersatt Belos Hawle 2-steps.

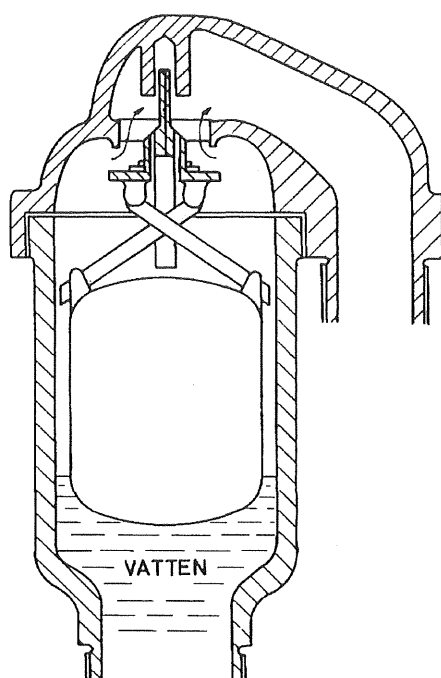
2.2.2 Luftarens funktion och utformning

En luftningsanordning kan vara manuell eller automatisk. Syftet med de manuella är att de i första hand ska användas för att avlägsna luft vid återfyllning av tömd ledning eller för att avlägsna luft som på annat sätt avsiktligt förts in i ledningen. De automatiska luftarna ska avlägsna luft vid normala driftförhållanden.

Den automatiska luftaren av typen Hult, se figur 1, fungerar enligt följande beskrivning²; I luftat läge är ventilhuset fyllt med vatten. Luft som separerat stiger uppåt och fyller efterhand övre delen av ventilhuset. Flottörkulan kommer så småningom att flyta på vattenytan. När lufttillförseln ökar sjunker vattenytan ytterligare, flottören följer med och luftningshålet öppnas. Detta sker i två steg. Först öppnas luftkanalen i centrum, vilket skapar ett tryck som lossar huvudkäglan. Eftersom lufttrycket i ventilen är detsamma som vattentrycket och alltså betydligt högre än atmosfärtrycket pressas luften ut och vattenytan i ventilhuset stiger, flottören följer med och luftningshålen stängs.

¹ Jönsson L (1993)

² Göteborgs va-verk (1985)



Figur 1 Automatisk luftare

Installationen av de automatiska luftningsanordningarna kan ske på två sätt. Luftaren kan sitta i en brunn direkt på ledningen eller i en brunn vid sidan om ledningen, se planer och profiler enligt bilaga 2-3. Då brunnen är placerad på ledningen kan den vara utformad med en betongplatta som botten eller sitta direkt på ledningen. På den luftningsanordning som används idag och på en del av den tidigare luftningsanordningen finns ett grenrör eller ett t-rör. På grenröret sitter en kran för att kunna kontrollera om anordningen är trycklös och att luftaren fungerar. På t-röret sitter i ena rörändan luftaren och i andra en kran för kontroll.

2.2.3 Erfarenheter

Samtal med personal på Göteborgs va-verk har gett information om erfarenheter av luft i vattenledningar, problem med luftare, klagomål från konsumenter och om luftfickor som eventuell orsak till rörbrott.

Små mikrobubblor i vattnet gör att det ser vitt ut vilket vid bristande kunskap kan vara oroande för konsumenterna. Klagomål om vitt vatten är inte vanligt att va-verket får. Inträffar detta är det oftast i samband med reparation eller annan åtgärd på vattenledningsnätet.

Exempel på rörbrott som möjligtvis orsakades av komprimerad luft är det som inträffade på en V200-ledning i Götaleden i september 1996. Läckan inträffade omkring 12 timmar efter att ledningen återfylldes efter reparationsarbete. Vid återfyllningen avlägsnades luften via en brandpost vilken ej ligger i höjdpunkt. Läckan orsakade stora skador i körbanan vilka åtgärdades samma dag men inte skadorna på ledningen. Dessa avvaktar man med tills behovet av ledningen har utretts. Eventuellt kan ledningen pluggas. Det bör även nämnas att en del av ledningen, där brottet inträffade, är lagd 1883. Den höga åldern kan vara en bidragande orsak till brottet.

Vid ett tillfälle, för 15-20 år sedan, då en automatisk luftare av den gamla utformningen skulle åtgärdas inträffade ett tillbud. Kranen stängdes men när luftaren skulle demonteras blåste den i luften då anordningen ej var trycklös. Kranen fungerade inte. Ingen personskada inträffade. Incidenten föranledde ett förslag på ny utformning av luftningsanordning med luftare i brunn vid sidan om ledningen, se bilaga 3. Det är denna utformning som används vid nyläggning idag. Vad gäller de gamla luftarna så undviker man nu att gå ner i brunnen då ledningen är under tryck.

2.2.4 Fältstudier

För att undersöka om luftfickor bildas i lokala höjdpunkter eller i nedåtgående rörsektioner valdes ett antal lämpliga automatiska luftare, manuella luftare samt brandposter ut för kontroll. Dessa är placerade på huvudledningar på lågzonen i dimensioner mellan 300 och 1000 mm där strömningshastigheten kan tänkas vara låg. De automatiska luftarna var stängda i en månad för att undersöka om luft samlades i höjdpunkt respektive nedåtgående rörsektion. De platser som valdes ut är följande;

1. Slätta damm, V600, aut. LV
2. Kärra-Angeredsleden, 2 st. dykare V800, aut. LV
3. Backa-Marieholm, 2 st. dykare V500, aut. LV
4. Torslandavägen-Volvo, V1000, aut. LV
5. Torslandavägen-Tankgatan, V1000, aut. LV
6. Torpagatan-Lindhultsgatan, V600, aut. LV
7. Östra Torpavägen, V600, aut. LV
8. Slussbron, V400, manuell LV
9. Fjällgatan, V400, manuell LV
10. Margretebergsgatan, V508, manuell LV
11. Ekedalsgatan, V308, bp
12. Kongahällavägen, V300, bp

aut. LV=automatisk luftningsventil

manuell LV=manuell luftningsventil

bp=brandpost

Fyra automatiska luftare i Hjuvik och Bulycke var tidigare under våren 1996 stängda en tid för kontroll. Detta utfördes av projekteringsavdelningen på va-verket. Ingen luft upptäcktes när luftarna öppnades igen.

De utvalda luftarna och brandposterna är placerade i markanta höjdpunkter, på dykare eller stäl-len där man sedan tidigare vet att det funnits luft i ledningen. Det senaste gäller för Slätta damm, Kongahällavägen och Torslandavägen-Volvo. Höjdpunkten på ledningen i Slätta damm är belägen på nivån +62,5 m (överkant). Vid hög förbrukning sjunker trycket under denna nivå och vid större undertryck än 2 mvp läcker luft in i ledningen³. Slätta damm valdes senare bort för att undvika eventuella problem som kunde uppstå då luftaren stängdes. Vad gäller Kongahällavägen och Torslandavägen är det troligen luft som ej avlägsnats vid återfyllning av tömd ledning.

³ Ljunggren O, Källberg O (1979)

I början av augusti stängdes de automatiska luftarna för att en längre tid. De manuella luftarna och brandposterna öppnades för att kontrollera om luftbubblor fanns. När detta utfördes hittades ej luftarna på dykaren vid Kärra-Angeredsleden trots användning av minsökare. Brandposten innan luftarna öppnades dock för kontroll. Luftaren vid Torpagatan-Lindhultsgatan var stängd sedan tidigare på grund av att den läckte. Ingen luft observerades vid öppning av de aktuella brandposterna och manuella luftarna. Typskisser av luftningsanordningarna visas i bilaga 2-3. Alla anordningarna markerades med bricka med texten RÖR EJ eller plasthätta så att de ej skulle öppnas utan att vaktcentralen meddelades om detta.

I slutet av augusti stängdes ledningen i Slussbron för en kontroll. Ledningen tömdes via en brandpost ut i kanalen. Då brandposten ej ligger i lågpunkt användes kompressor för att trycka ut resten av vattnet ur kran i högpunkt. När ledningen var tom på vatten och kranen stängd öppnades först en av ventilerna något och sedan kranen för att kontrollera att det pös ut luft vilket det också gjorde.

Cirka en månad efter att de automatiska luftarna stängdes öppnades de igen. De gamla luftningsanordningarna öppnades med kranen under luftaren och de nya med ventilen mellan brunnen och ledningen. Även de manuella luftarna och brandposterna kontrollerades igen. Ingen luft observerades.

Orsaken till detta kan vara att det ej har funnits luft eller att själva luftaren inte fungerar. De automatiska luftarna som sitter direkt på ledningen kan ej kontrolleras på plats utan måste demonteras och tas till verkstad för vidare kontroll. För att utföra detta krävs att ledningen stängs av för att minska trycket. Luftningsanordningarna med brunn vid sidan om ledningen är utformad med en kran mellan ventil och luftare. Med hjälp av denna kan man kontrollera om ventilen har stängts samt att luft som samlats pyser ut.

Luftaren som sitter på 1000-ledningen vid Torslandavägen-Volvo var stängd ytterligare sex veckor. När den öppnades igen i oktober fann vi ingen luft. Kranen i Slussbron öppnades efter att ha varit stängd i drygt 8 veckor. Ingen luft upptäcktes.

Vid samtliga kontroller på dricksvattnenätet observerades ingen luft när luftarna och brandposterna öppnades.

2.3 Erfarenheter från andra kommuner

2.3.1 Enkät

För att få en uppfattning om andra kommuners problem med luft i vattenledningar samt eventuell policy vad gäller luftare vid nyprojektering skickades en enkät med sju frågor ut, se bilaga 5. Frågorna behandlade problem med luft, strategi vid nyprojektering, kriterier som ska vara uppfyllda för att installera luftare och tillsyn samt behov av befintliga luftare på dricksvattnenät. Enkäten skickades ut till, av Chalmers och va-verket, kända personer i 14 kommuner runt om i Sverige. Ett följebrev, som visas i bilaga 4, bifogades enkäten. Tre veckor efter att enkäten skickades ut kontaktades de som ej svarat per telefon. I tabell 1 nedan rangordnas kommunerna efter längd vattenledning för

att kunna jämföra med antal luftare på vattennätet. I jämförelsen som redovisas i sammanställning av enkäten har ej tagits hänsyn till topografin.

Tabell 1 Aantal anslutna till vattenledningsnät, ledningslängd, antal luftare och antal luftare/ledningslängd i de kommuner som blivit tillfrågade.

Kommun	Antal anslutna till kommunens vattenledn.nät [pers]	Ledningslängd [km]	Antal luftare [st.]	Antal luftare / ledningslängd [st./km.]
Lycksele	12 250	157	15	0,10
Trollhättan	46 140	281	150	0,53
Mark	22 620	284	5	0,02
Nyköping	39 040	285	10	0,035
Södertälje	73 290	349	-	-
Örebro	106 400	616	20-40	0,03-0,06
Luleå	66 940	623	50	0,08
Borås	91 095	629	135	0,21
Skellefteå	69 000	649	30-50	0,05-0,08
Jönköping	103 300	650	260	0,4
Linköping	118 460	701	-	-
Halmstad	75 100	760	25-30	0,03-0,04
Malmö	241 600	850	270	0,32
Stockholm	700 000	1680	uppgift saknas	-
Göteborg	433 895	1684	600-700	0,36-0,41

Uppgifter om antal anslutna och ledningslängd gäller för 1994⁴.

2.3.2 Sammanställning av svar på enkät

Av de 14 tillfrågade kommunerna har 12 svarat på enkäten. Södertälje kommun och Linköpings kommun har ej svarat.

1. Problem med luft i dricksvattenledningar.

Malmö kommun har vid ett flertal tillfällen haft problem med vitt vatten. Vid ett tillfälle löste sig stora mängder luft i en huvudledning. Orsaken var bristfälliga luftare och avsaknad av

⁴ Statistik VAV S94 (1995)

luftare på denna ledningssträcka. Konsekvenserna blev ett ökat antal rörbrott och oro för vattenkvaliten. Örebro kommun har haft problem med en 10 km lång överföringsledning med stora nivåskillnader upp och ned på ledningen och få servisledningar anslutna. Stockholm Vatten har problem med avlossning av rost vid tömning av ledningar. Sex av de övriga kommunerna har mycket sällan haft problem eller inte alls. Tre kommuner har haft problem i samband med läckor eller reparationer då ledningen varit tömd.

I Borås kommun har man haft problem med korrosion på luftningsventilerna. Vid två tillfällen har luftaren flugit i luften vid reparationsarbete. Detta har även inträffat i Göteborg. Borås kommun har nu fått ett åläggande av Yrkesinspektionen om att ej gå ner i brunnen då ledningen är under tryck.

2. Policy vad gäller luftare alternativt brandpost vid nyprojektering av vattenledningar.

Flera kommuner anser att luftning sker via anslutna servisledningar och brandpost. Luftningsventiler sätts på dimensioner > 150 mm, > 200 mm, på långa överföringsledningar eller i extrema höjdpunkter på ledning där servisanlutning saknas. I Stockholm och i Malmö kommun sätter man automatiska luftare på huvudledningar och manuella luftare eller brandpost på distributionsledningar. I Malmö kommun tillämpas idag en ökad restriktivitet vid bedömning av behov. Man strävar efter att minimera de automatiska luftarna ur servicesynpunkt. I Skellefteå undviker man att sätta luftare och i Lycksele kommun sätter man husbrandposter.

3. Krav som ska uppfyllas för att sätta luftare på vattenledning.

Höjdpunkt på dimension > 63 mm, markerad höjdpunkt dimension > 150 mm, mycket brant lutning, större ledningar eller längre överföringsledningar är några av svaren. I Marks kommun sätter man manuell luftare på ändledning för renspolning. Luftningen får man på köpet. Malmö kommun sätter alltid automatisk luftare vid väl utvecklade höjdpunkter på huvudledning. Vid dimensioner ≤ 600 mm bedöms från fall till fall vilken typ av utformning som är lämplig. Vid grövre dimensioner tittar man inte speciellt på strömningshastigheten. Skellefteå kommun placerar om möjligt serviser i höjdpunkter på ledningar med mindre dimension. Vid större dimensioner följer man anvisningarna i VAV P38.

4. Antal luftare redovisas i tabell ovan.

Kommunerna är indelade i tre grupper i tabellen ovan för att lättare kunna jämföra antal luftare med längd vattenledning. I den första gruppen med 150-350 km ledning har Trollhättan betydligt fler luftare än de övriga som ligger runt 5-15 st. I den andra gruppen, 600-850 km ledning, har Malmö, Jönköping och Borås avsevärt fler luftare än de övriga. De två sista kommunerna Göteborg och Stockholm har ett vattenledningsnät med 1684 respektive 1680 kilometer ledning. Eftersom Stockholm ej har statistik över antal luftare kan ej jämförelse göras med Göteborg. Malmö kommun har ungefär hälften av Göteborgs vattenledningslängd. I jämförelse med antal luftare med hänsyn till ledningslängd har de färre än Göteborg.

5. Utformning av luftningsanordning.

De flesta kommunerna har luftaren i en brunn direkt på ledningen. I en del kommuner förekommer båda typerna av utformning. Både med en brunn direkt på ledningen eller brevid ledningen. Stockholm Vatten har annan utformning på sina två typer av luftningsanordning.

På ledning mindre än 700 mm används spolpost i en isolerad nedstigningsbrunn som luftningsanordning. På större dimensioner sätts luftaren på ett grenrör som i sin tur sitter på en nedstigningslucka på ledningen.

6. Tillsyn av luftningsanordningar.

Tillsyn utförs i en del kommuner när misstanke om fel finns, när man känner till att problem kan uppstå eller i samband med läckor eller driftstörningar. Andra kommuner utför regelbunden tillsyn eller planerar att utföra regelbunden tillsyn. En del utför ingen tillsyn alls. Ledningsdimension > 400 mm 1 gång vart 5:e år, en gång vart tredje år, en gång vart annat år eller en gång per år på huvudledningsventiler är några av svaren. I Borås kommun ska man efter två incidenter införa regelbunden tillsyn.

7. Behov av luftare.

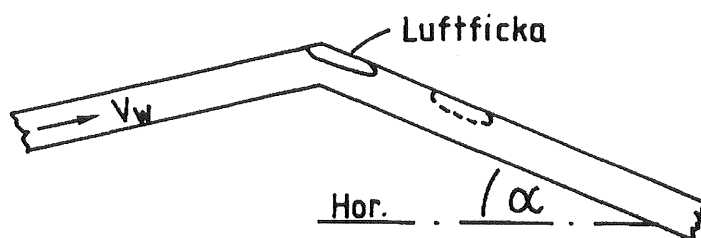
I Malmö kommun har man undersökt behovet av de befintliga luftarna. En inventering av luftningsventilerna har gjorts där man ser till behovet av avluftning, bland annat med hänsyn till betryggande driftsäkerhet och traditionella metoder och möjligheter vid arbete på va-nät. Inventeringen visar att många luftningsventiler kan tas bort eller ersättas med manuella luftare alternativt brandpost eller spolpost. Inga andra kommuner har undersökt behovet av luftare på dricksvattennätet.

3 Teori

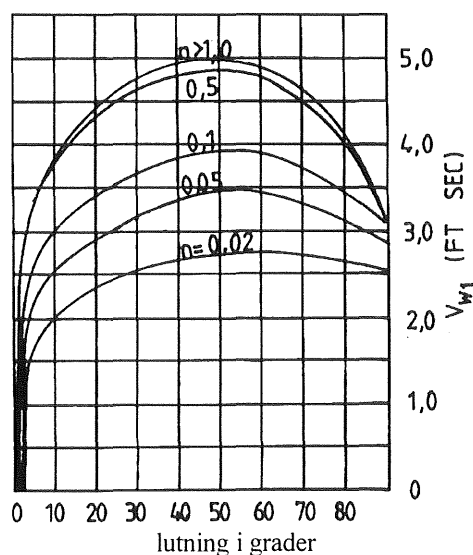
3.1 Tidigare experiment och studier.

Tidigare utredningar och experiment angående hydraulisk transport av luftbubblor och luftfickor från ledningshöjdpunkt är få och de flesta dessutom gamla. De tillgängliga har studerats och några av dem har sammanställts nedan.

Gandenberger i Jönsson L, 1993 upprättade utifrån experiment ett diagram som visar vilken hastighet som krävs för en viss luftvolym ska förflyttas från en ledningshöjdpunkt ner i en nedåtgående rörsektion⁵, diagrammet visas i figur 3. $V_{w1} = Q / A$ är minsta medelhastighet för att transportera en luftficka med enhetdiameter 1 fot ($D = 1$ fot, 1 fot = 0.304 m). Luftvolymen beskrivs av parametern n i uttrycket luftvolym = $n \times \pi \times D^3 / 4$. Omräkning av erforderlig hastighet i rör med annan diameter görs med hjälp av uttrycket $V_{vx} = V_{w1} \times (D_x)^{0.5}$.



Figur 2 Ledningsprofil



Figur 3 Gandenbergers resultat enligt Mehler.

⁵ Jönsson L (1993)

Veronese och Lara i Jönsson L (1993) observerade att vid högre hastighet reducerades en isolerad luftficka till en stabil storlek som var i jämvikt med strömningen, denna definierades som "gränsbubbla". De observerade också en hastighet som håller bubblan i jämvikt och definierade den som "gränshastighet". De föreslog att i rör större än 100 mm i diameter skulle luftfickor transporteras vid en hastighet större eller lika med 0,59 m/s, vilket är gränshastigheten för rör med 100 mm i diameter.

Kalinske och Bliss⁶ angav, utifrån experiment, ett samband mellan flöde för borttransport av luftficka, ledningsdiameter och ledningslutning.

$$\frac{Q_c^2}{g \times D^5} = 0,707 \times \tan \alpha$$

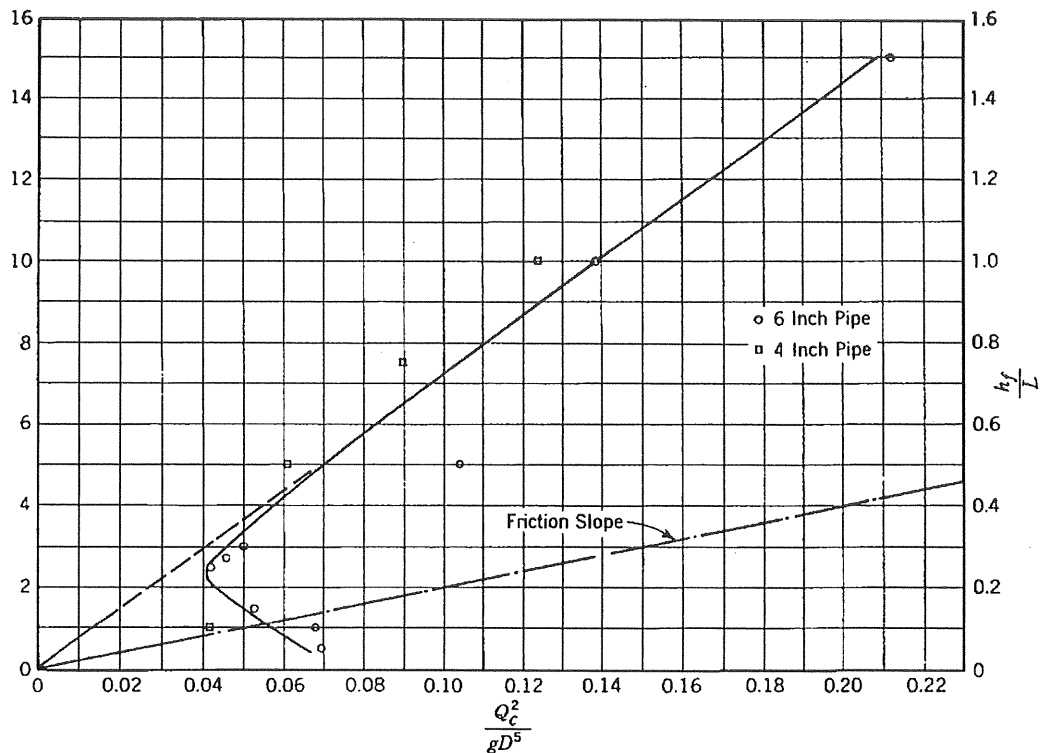
Q_c = flöde då transport börjar

D = ledningsdiameter

α = ledningslutning

Experimentet utfördes med 100 mm och 150 mm transparent rör. Ledningsprofilen var utformad med en höjdpunkt. Det nedåtgående röret avlutade i en öppen tank för att tillåta fri luftavgång. När vatten började flöda över höjdpunkten och ner i röret fylldes snart den lägre delen av röret. Rörelsen i vattensprånget som uppstod medförde att luft blandades in i det strömmande vattnet. Kalinske och Bliss fann att för lutningar mindre än 2,5 % för en given diameter, krävs högre vattenflöde än vad som krävs vid 2,5 % lutning, se figur 4. Det här betyder att ingen fördel fås genom att utnyttja mycket små lutningar. De fann även att för att starta en luftbubblas transport i en nedåtlutande ledning krävs ett vattenflöde som innebär att den hydrauliska gradienten blir mycket mindre än ledningslutningen.

⁶ Kalinske A. A., Bliss P. (1943)



Figur 4 Kalinske och Bliss experimentresultat.

Utifrån experiment föreslog Kent i Jönsson L (1993) följande formel;

$$V_{\min} = 1,62 \times \sqrt{\xi} \times \sqrt{g \times D \times \sin \alpha}$$

där $V_{\min}$ är den hastighet då luftfickan är i jämvikt och ξ är en formfaktor. Utifrån experimentresultaten föreslog han att ξ blir konstant för luftfickor av storleken $L_b / D > 1,5$, där L_b är längden på fickan.

Kalinske och Robertsson⁷ kom genom experiment fram till ett samband mellan Froudes tal och förhållandet mellan luftflödet och vattenflödet.

$$\frac{Q_{\text{luft}}}{Q_{\text{vatten}}} = 0,0066 \times (F_1 - 1)^{1,4}$$

Q_{luft} = luftflöde av inträngd luft i vattensprånget

Q_{vatten} = vattenflöde

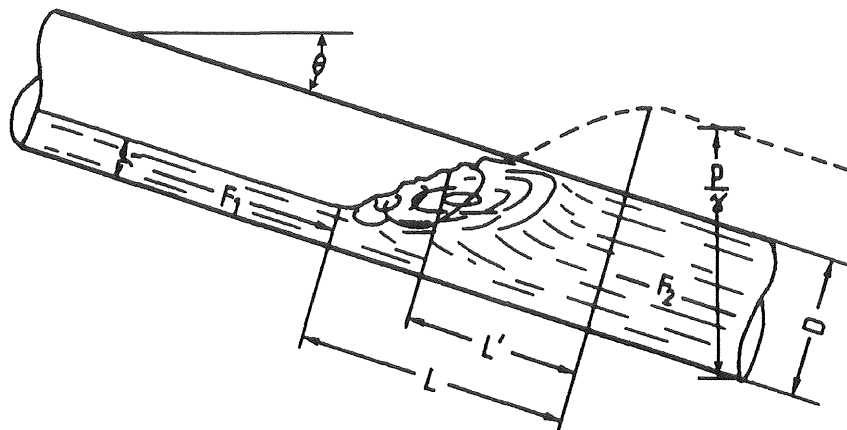
$$F_1 = \frac{U_1}{\sqrt{g \times y_{m1}}} \quad \text{där} \quad F_1 = \text{Froudes tal}$$

U_1 = uppströms vattenhastighet

y_{m1} = uppströms hydrauliskt medeldjup

($y = A / t$)

⁷ Kalinske A. A., Robertsson J. (1943)



Figur 5 Rörprofil med fri vattenyta som övergår i fylld sektion.

Kalinske och Robertsson studerade luftinträngningen i ett vattensprång genom experiment. Modellen bestod av ett nedåtlutande rör. När vatten började strömma ner i röret fylldes det så småningom via ett vattensprång. Experiment gjordes för lutningar mellan 0,11 och 17,5 grader. Ett visst kritiskt värde på vattenflödet fanns då den av vattensprånget inträngda luften ej transporterades.

Wisner⁸ studerade de tidigare utförda experimenten med respektive resultat och kom fram till att hastigheten för transport minst bör vara

Gandenberger 1,13 m/s
 Veronese & Lara 0,59 m/s
 Kalinske & Bliss 0,62 m/s
 Kent 0,75 m/s

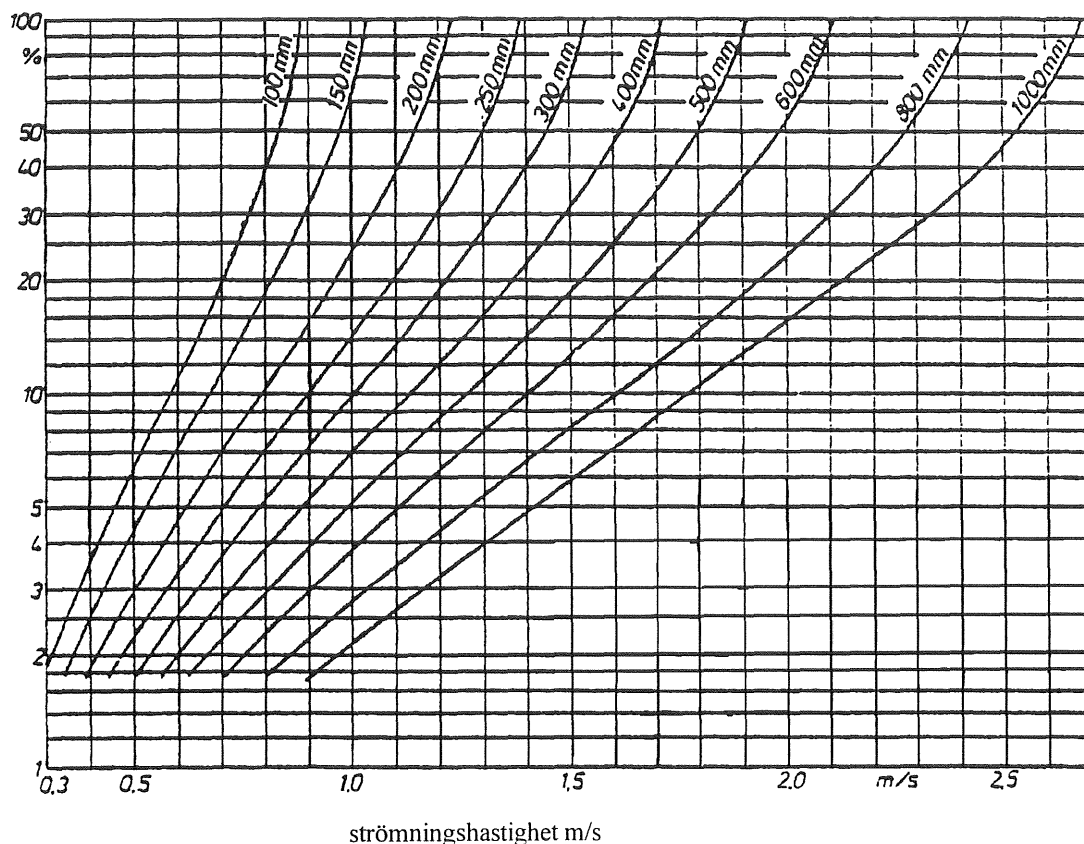
En orsak till variationerna mellan vattenhastigheten kan vara skaleffekter. Wisner's försök visade att luftfickan reducerades tills den nådde en stabil storlek. Vid ytterligare hastighetsökning sveptes fickan med nedströms, enligt Veroneses & Laras hypotes om gränshastighet och gränstorlek. Wisner fann också att gränshastigheten ej blev konstant om rördiametern blev stor som Veroneses resultat antydde. Han upptäckte också att vid samma uppströms Froudes tal transporterades en luftficka lättare i ett stort rör än i ett litet. Detta pekar på skaleffekt. Wisner påpekar att i mindre ledningar än 300 mm kan luftfickor som uppkommit i samband med fyllning kräva så höga hastigheter att mekanisk avlägsning med luftventiler är att föredraga.

I Tech. Mitteilungen⁹ redovisas ett diagram, se figur 6, som visar minsta hastighet för transport av luftficka vid olika ledningsdimensioner. Diagrammet gäller för luftficka med volymen $V_L < \pi \times d^3 / 4$. Hur diagrammet är framtaget är ej känt.

⁸ Wisner P.E., et al. (1975)

⁹ DVGW Regelwerk (1986)

lutning i %



Figur 6 Minsta hastighet som krävs för att avlägsna en luftficka av volymen $\pi \times d^3 / 4$.

Hastigheten för att små luftbubblor ska stiga, det vill säga separera från vattnet, kallas stignings-hastighet¹⁰. Denna beskrivs enligt sambandet;

$$w = \frac{g \times d^2}{18 \times \nu} \quad \text{där} \quad \begin{array}{l} \nu = \text{kinematisk viskositet, som för 20-gradigt vatten är } 1,1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \\ 1,1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \\ d = \text{bubbeldiameter} \\ g = \text{tyngdacceleration} \end{array}$$

Kapaciteten för vatten att lösa luft beror på tryck och temperatur. Nollgradigt vatten kan absorbera 3.2 % luft vid atmosfärtryck, vidare 2 % vid 20 grader och 1,2 % vid 100 grader. Löst mängd luft i vatten vid 1 atm. se tabell nedan.

3.2 Gasjämvikt i vatten

Vattnets möjlighet att lösa en viss gas beskrivs enligt Henrys lag.

¹⁰ Stephenson D (1981)

$p_i = H \times x_i$ där H = konstant [-], hämtas från tabell för luft
 p_i = partialtryck av i i gasfas [1 atm]
 x_i = molandel av i i vätskefas [mol/mol]

Lufts löslighet i vatten beroende av temperatur vid 1 atm redovisas i tabell 2 nedan. Exempel på beräkning av mängd löst luft i vatten vid 1 atm och 10 °C visas i bilaga 6.

Tabell 2 Lufts löslighet i vatten beroende av temperatur vid 1 atm..

Temperatur [°C]	Mängd luft [mg (N ₂ +O ₂)/l H ₂ O]
0	37,1
5	32,8
10	29,2
15	26,4
20	24,1
25	22,2
30	19,5

Ju högre vattentemperatur desto mindre mängd löst luft, N₂+O₂, i vattnet.

3.3 Beräkning av gränshastighet

För de platser på ledningsnätet där kontroll utfördes beräknades gränshastighet enligt Kalinske & Robertsson's formel samt enligt diagram i Tech. Mitteilungen. Där ledningsprofiler ej har hittats har inte gränshastigheter beräknats. En jämförelse gjordes sedan med en beräknad vattenhastighet i ledningen, se tabell 3 nedan. Exempel på beräkning av gränshastighet för Fjällgatan visas i bilaga 7.

3.3.1 Datorberäkning

Strömningshastigheten beräknades i datorprogrammet VNET, ett program för dimensionering och simulering av vattenledningsnät. Rörnätet beskrivs med knutpunkter och ledningar där emellan. Förbrukningen kan läggas som tre olika slags uttag i knutpunkterna, hushållsförbrukning, industriförbrukning och branduttag. Indata för lågzonen var inlagt i programmet sedan tidigare. Längd, dimension och råhet för ledningar i dimension 300 mm och större var inlagda samt hushållsförbrukning och läckage som uttag i knutpunkterna. Högzoner med reservoar hade lagts som separat uttag för att möjliggöra en annan faktor på denna förbrukningen. Hushållsförbrukningen är beräknad på befolkningsuppgifter från Stadsbyggnadskontoret och känd årsförbrukning i Göteborg. I den inlagda hushållsförbrukningen ingår även allmän förbrukning. Den specifika hushållsförbrukningen för Göteborgs kommun är 237 l/pd och den allmänna förbrukningen utslagen på antal förvärvsarbetande är 127 l/pd.

Max timförbrukning för ett relativt normalt dygn, där registrerad utpumpning och reservoar-nivåer fanns, simulerades i datorprogrammet VNET. En faktor beräknades med hänsyn till läckage och lades på den inlagda förbrukningen i VNET. Beräknad hastighet i VNET och be-räknad gränshastighet redovisas i tabell 3. En jämförelse av hastigheterna visade att i de flesta fall var den beräknade hastigheten mindre än gränshastigheten. Detta betyder, enligt teorin om gränshastighet, att eventuella luftfickor i höjdpunkten ej avlägsnas hydrauliskt under ett dygn med relativt normal förbrukning.

Tabell 3 Beräknad hastighet och gränshastighet för de studerade platserna på rörnätet.

	$v_{\text{gräns}} \text{ enl. Ka-}$ $\text{linske\&Bliss}$ [m/s]	$v_{\text{gräns}} \text{ enl. "tyskt}$ diagram" [m/s]	$v_{\text{beräknad i VNET,}}$ [m/s]
1 Slätta damm	0,84	1,40	0,399
2 Kärra-Angeredsleden	1,18	1,80	0,066
3 Backa-Marieholm	2,15	1,93	0,580
4 Torslandav.-Volvo	0,17	0,50	0,219
5 Torslandav.-Tankg.	-	-	-
6 Torpagatan	-	-	-
7 Östra Torpavägen	-	-	-
8 Slussbron	1,17	1,30	0,400
9 Fjällgatan	0,52	0,98	0,104
10 Margretebergsg.	-	-	-
11 Ekedalsgatan	0,35	0,70	0,022
12 Kongahällavägen	0,08	0,60	0,094

3.4 Råd och anvisningar

Enligt VAV:s¹¹ anvisningar ska en luftningsanordning avleda luft vid normala driftförhållanden och/eller möjliggöra luftströmning vid fyllning och tömning av vattenledning. Det vill säga luf-taren ska både ha möjlighet att avlägsna och släppa in luft vid behov. Vidare ska luftningsan-ordningen placeras i högpunkt, vid huvudledning i varje höjdpunkt. Luftarens kapacitet bör tillå-ta att ett avstängningsområde eller en ledningssträcka kan fyllas på mindre på en timma och att lufthastigheten är mindre än 20 m/s. Uppfylls ej kraven bör ledningen även förses med en brandpost. Då avluftning ej kan ske genom servis och vattenhastigheten är lägre än i tabell 4 bör distributionsledning utrustas med en luftningsanordning.

¹¹ VAV P38 (1979)

Tabell 4 Rekommenderade hastighetskriterier för att utrusta vattenledning med luftningsanordning.

Dimension [mm]	Hastighet [m/s] I = 1 ‰	Hastighet [m/s] I = 10 ‰
100	0,2	0,4
200	0,2	0,5
300	0,3	0,6

I = ledningens lutning

VAV föreskriver i P39¹² att luftningsanordningen bör sitta i en värmeisolerad nedstigningsbrunn och att en avstängningsventil ska finnas mellan luftningsventilen och ledningen.

Erforderlig kapacitet för luftningsanordning beräknas enligt anvisning i VAV P38, se bilaga 8.

I VA AMA 66 hänvisas till Gandenbergers försöksresultat som visar att kvarstående luftsamlingar ej uppstår utan luften sveps med vid vattenhastigheter som är minst cirka 0,3 m/s. Tryckledningar kan då läggas så att de följer terrängens naturliga lutning. Vidare föreskrivs en avtappning och en avluftningsanordning inom varje avstängningsområde.

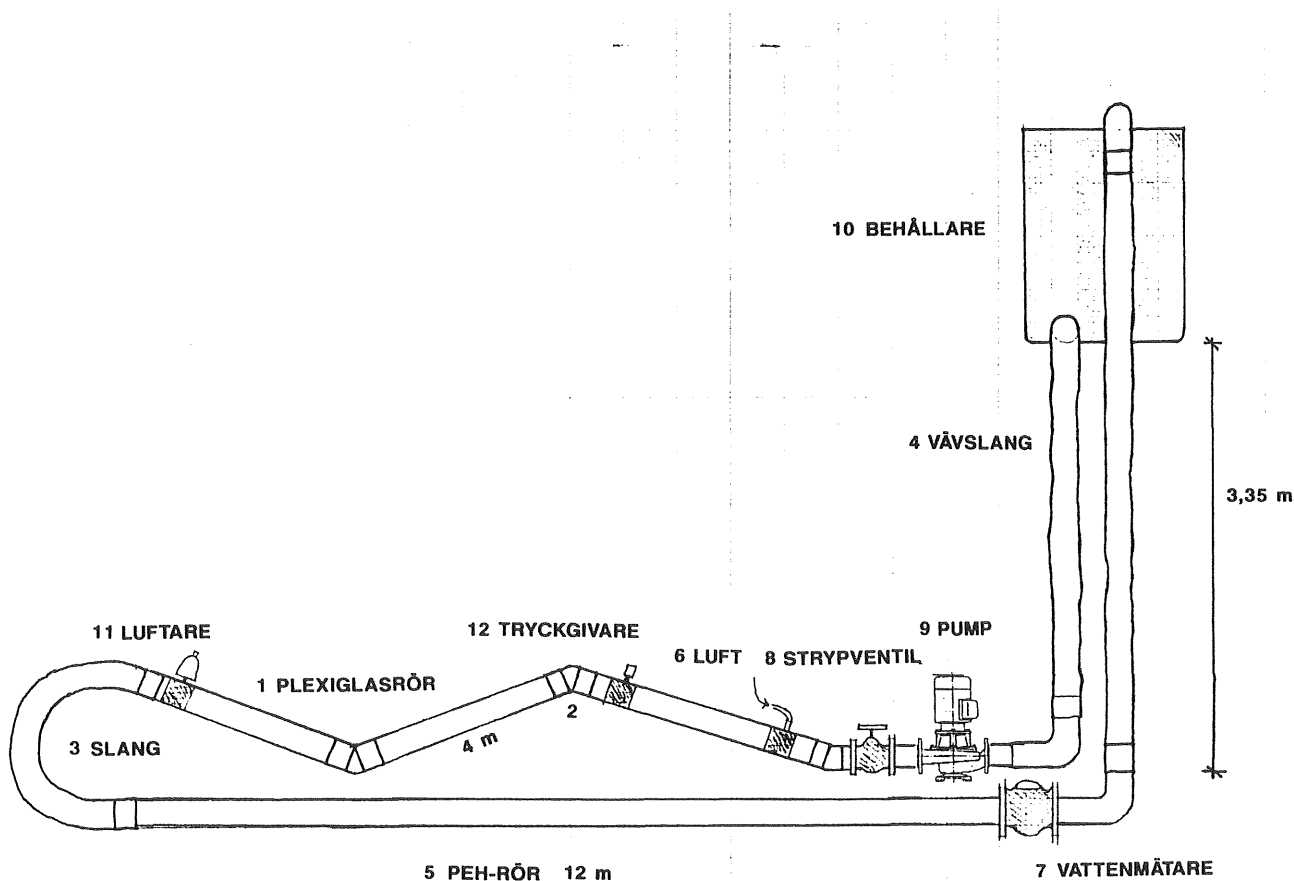
¹² VAV P39 (1979)

4 Experiment

4.1 Testmodell

För att få en bättre uppfattning om problemet med luft i tryckledning samt att få svar på frågan hur luften beter sig vid olika betingelser i ett vattenfyllt rörsystem valdes att göra ett experiment med hjälp av en testmodell. Experimenten skulle utföras i en modell med transparenta rör så att man lätt kunde se om luftbubblorna separerade från vattnet, sveptes med av vattenflödet eller fastnade i höjdpunkten. Vidare fanns önskemål om att i testmodellen variera lutning på nedåtgående ledning, variera tryck och flöde samt under kontroll föra in luft. Avsikten var att försöka arbeta med en realistisk rördimension för att undvika skaleffekter och att utforma modellen med minst en höjdpunkt och en lågpunkt på ledningsprofilen, se figur 7.

Utifrån dessa förutsättningar byggdes en testmodell i försökshallen på Lackarebäcks vattenreningsverk. Typskiss av modellen visas i bilaga 9:1 och fotografier på modellen visas i figur 8-11 samt i bilaga 9:2. Dimensionen valdes till 100 mm.



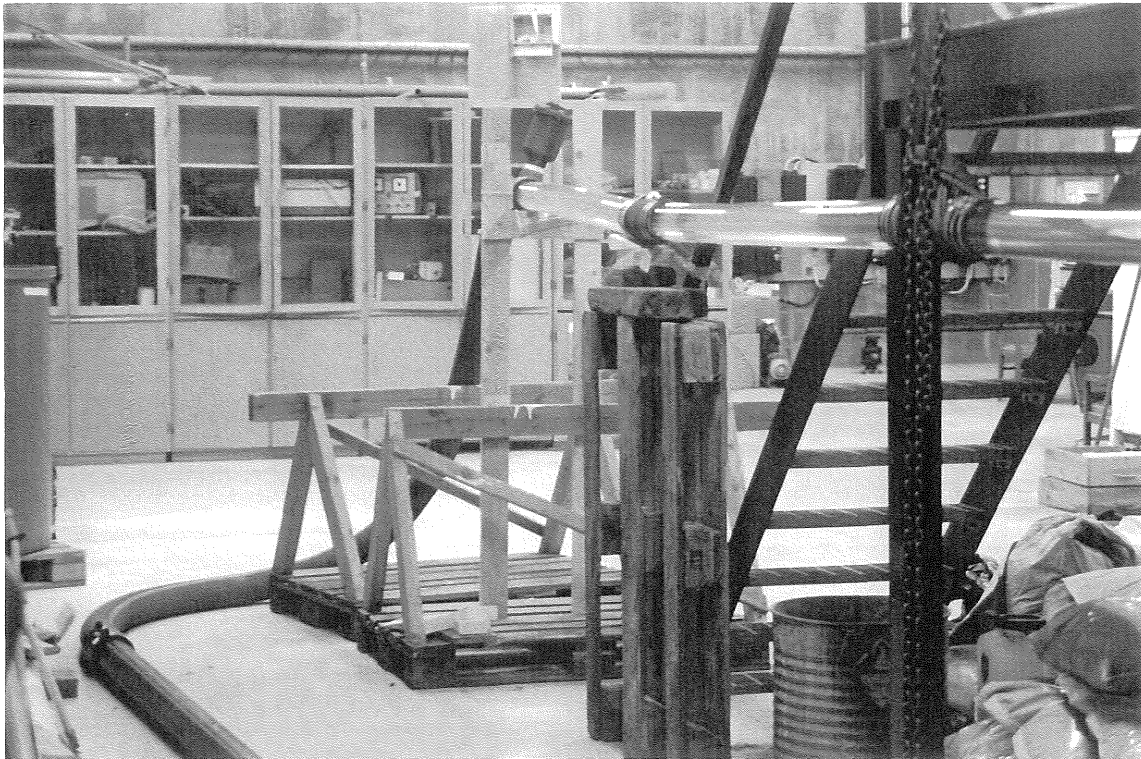
Figur 7 Typskiss av testmodell.

Modellen bestod av;

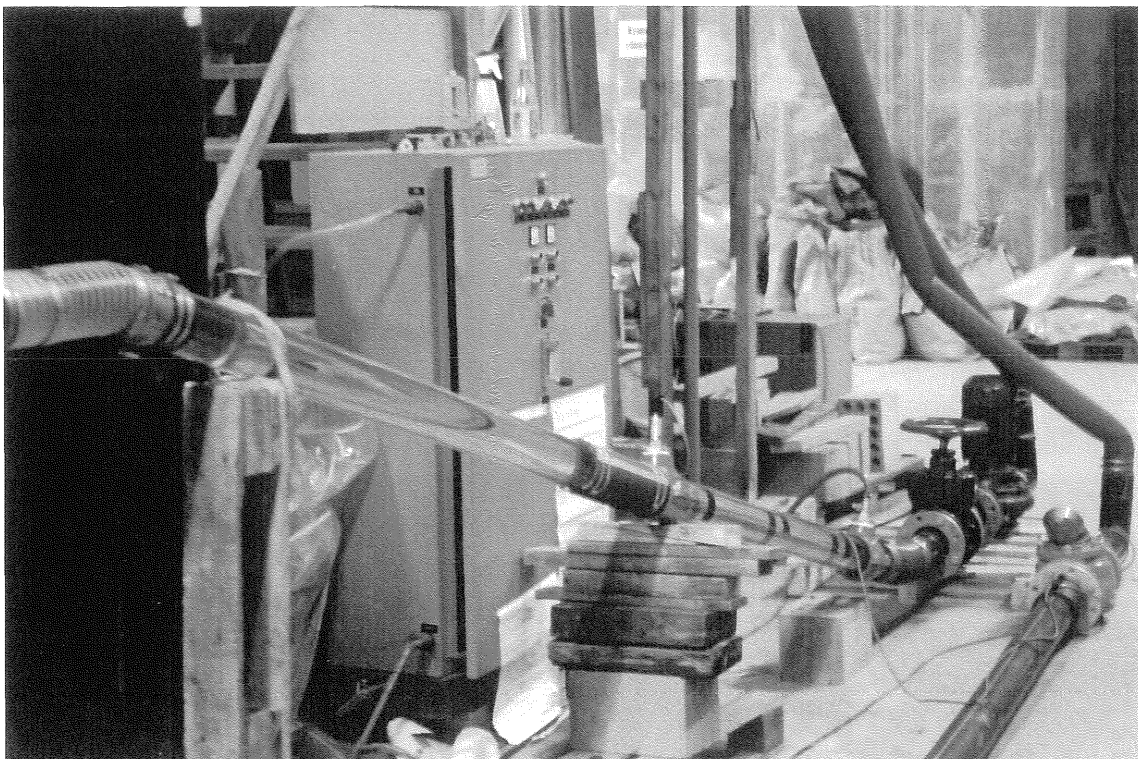
1. Sex stycken plexiglasrör á 2 m med $d_y = 100$ mm och $d_i = 94$ mm
2. Armerad genomskinlig plastslang, $d_i = 102$ mm
3. Industrivattenslang, $d_i = 102$ mm
4. Vävslang, $d_i = 102$ mm
5. PEH-rör 110×10 PN 10, 2×6 m
6. Anordning för luftinsug
7. Vattenmätare med analog signalomvandlare för flödesmätning
8. Strypventil för att ändra flöde
9. Pump, se pumpkaraktistika i bilaga 10
10. Behållare, 500 l
11. Luftare
12. Utrustning för mätning av tryck och flöde

Utrustning och material är markerat i figur 7.

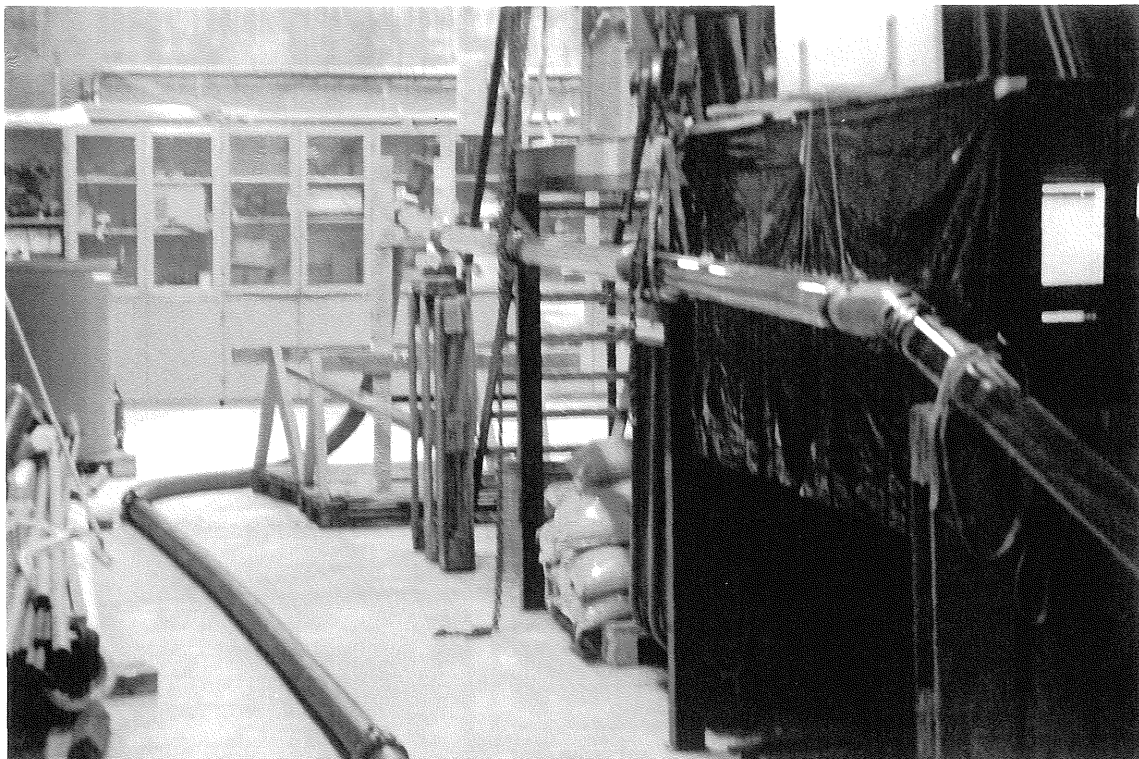
De tre plexiglasrören fogades samman med plastslang och slangklämmor. Den genomskinliga slangen användes i höjdpunkt och lågpunkt där det var nödvändigt att se om luften förflyttades. För att slangen skulle bli tät användes silicon. Mellan behållare och pump respektive PEH-rör sattes vävslang. Övriga rör fogades samman med industrivattenslang. Eftersom pumpens utloppsdiаметer var 80 mm krävdes en övergång till 100 mm för strypventilen som placerades efter pumpen. På plexiglasröret efter strypventilen monterades en anborningsbygel för lufttillförsel och en anborningsbygel för tryckgivaren. Luftaren placerades längst ut på det sista plexiglasröret för att kunna avlägsna luft i höjdpunkten. Mellan det sista plexiglasröret och PEH-röret på golvet monterades industrivattenslang för att lättare ändra rörens läge. PEH-rören svetsades samman med elmuff. Behållaren placerades på en ställning cirka 3,35 m ovanför pumpen för att öka trycket i systemet. Modellen byggdes upp längs bryggan för försöksanläggningen så att plexiglasrören kunde hängas upp i två taljor vilka hängde i bryggan.



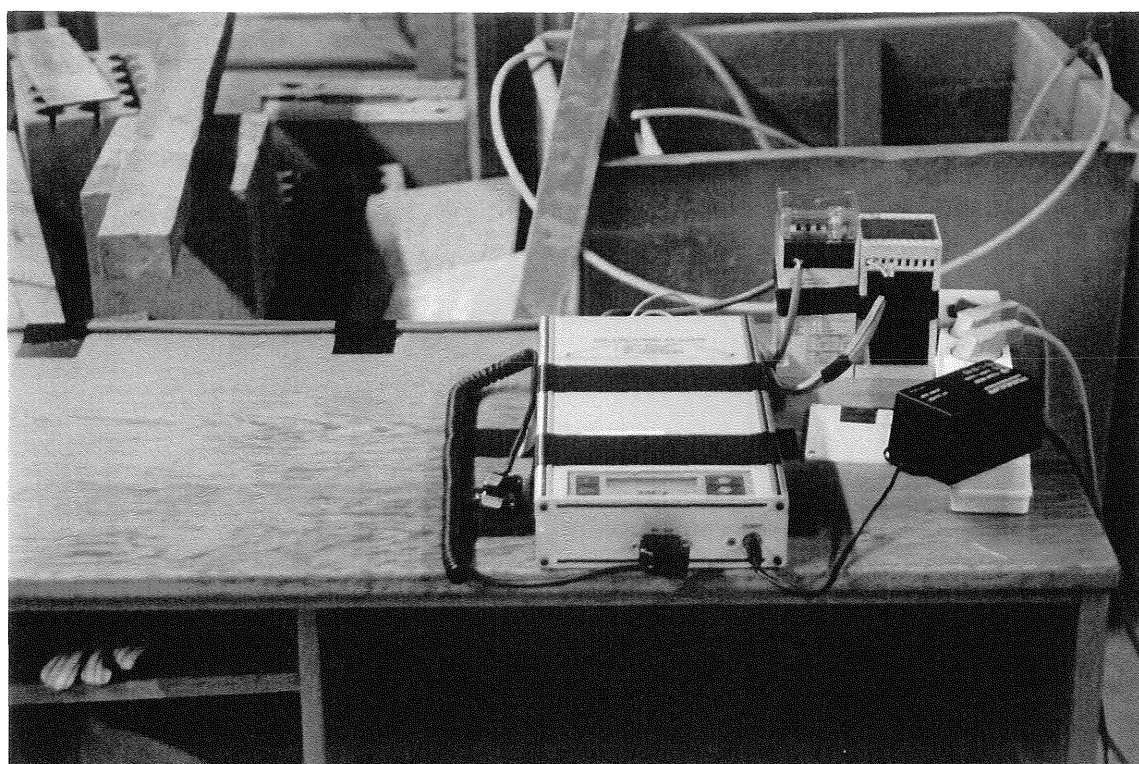
Figur 8 Del av testmodell. Plexiglasrör, luftare, industrivattenslang och PEH-rör.



Figur 9 Del av testmodell. Pump, strypventil, anordning för lufttillförsel, tryckgivare, vattenmätare, plexiglasrör, PEH-rör och vävslang.



Figur 10 Del av testmodell. Plexiglasrör, luftare, industrivattenslang och PEH-rör.



Figur 11 Del av mätutrustning. Logger och D/A-omvandlare.

4.2 Mätutrustning

Luft togs från det interna tryckluftssystemet på reningsverket. En plastslang monterades från tryckluftssystemet till en rotameter och därifrån en plastslang till anborningsbygeln på testmodellen. I rotametern passerar luften en cylinder med en skala från 0-200 mm. I cylindern finns en stålkula som lyfts upp beroende på luftflödet. Med hjälp av ett kalibreringsdiagram, se bilaga 11, kan normalflödet sedan avläsas. Beroende på tryck och temperatur omräknas normalflöde till luftflöde. Beräkningsexempel finns i bilaga 11.

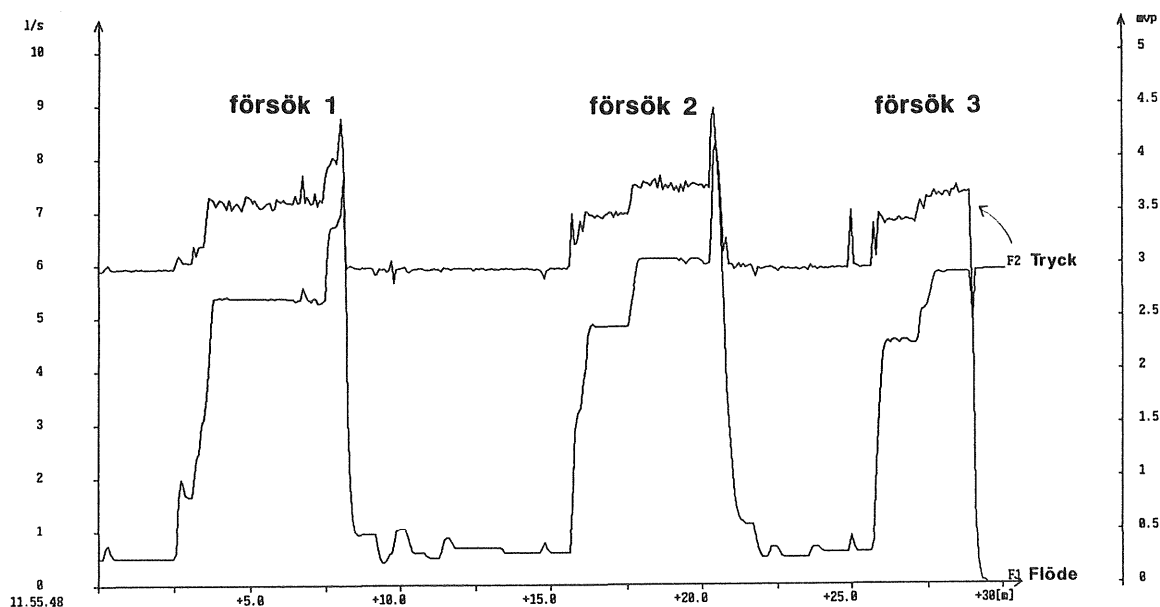
Trycket och ett medelvärde av flödet mättes med tryckgivare respektive vattenmätare, se mätutrustning i bilaga 12. Tryckgivaren mätte trycket i bar som registrerades av loggern, se figur 11. Loggern omvandlade mätvärdet till mvp, $1 \text{ bar} \cong 10 \text{ mvp}$. En givare på vattenmätaren gav signaler till loggern som registrerade flödet i intervallet 0-20 l/s.

Tabell 5 Noggrannhet vid mätning av flöde och tryck.

Enhet	Klass	Mätområde	Noggrannhet
Tryck	0,5 %	0-1,6 bar	$\pm 0.0175 \text{ mvp}$ vid 3,5 mvp
Flöde	2 %	0-20 l/s	$\pm 0,1 \text{ l/s}$ vid 5 l/s

Loggerns upplösning, det vill säga stegavståndet vid plotning av de registrerade värdena, var 4,8 mm. Till loggern kopplades en bärbar dator. I datorn installerades ett program som kan lagra och redovisa mätdata. Datorprogrammet, AC-GL:ver.8, är starkt knutet till loggern. När försöken utfördes kunde flöde och tryck med en mycket liten fördröjning avläsas på datorskärmen.

Registrering av mätdata för tre av de utförda försöken visas i figur 12.



Figur 12 Mätresultat från försöksserie 1.

4.3 Försöksprogram

4.3.1 Försöksserie 1

Efter att ha studerat tidigare utförda experiment^{13,14,15} och resultat¹⁶, Gardenberger i Jönsson L. (1993), upprättades ett försöksprogram för inledande försök. De parametrar som varierades var ledningslutning, tryck och flöde samt lyftvolym i systemet. Vattentemperatur och ledningsdimension var konstant. Avsikten var delvis att jämföra försöksresultaten med de tidigare studerade experimenten av Kalinske och Bliss och Gardenbergers diagram för gränshastighet samt gränshastigheten enligt diagrammet i figur 6. Det senaste gäller för en luftficka med volymen $V_L \leq \pi d^3/4 = 6,52 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$. Försök utfördes med tre luftvolymen, $V_L = 6,25 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, $3 \times V_L$ och $5 \times V_L$ för 2 %, 6 % och 15,6 % ledningslutning. Vid en given lutning och luftvolym söktes flödet för att förflytta luftfickan helt eller delvis från ledningshöjdpunkten. Vidare ändrades den konstanta luftvolymen till ett kontinuerligt luftflöde. Försöksprogrammet redovisas i tabell 6 nedan.

Tabell 6 Försöksprogram för försöksserie 1 och försöksserie 2.

Lutning [%]	q [l/s] luftvolym V_L	q [l/s] luftvolym $3V_L$	q [l/s] luftvolym $5V_L$
2	3 ggr	3 ggr	3 ggr
6	3 ggr	3 ggr	3 ggr
15.6	3 ggr	3 ggr	3 ggr

Varje försök med en given lutning respektive luftvolym upprepades tre gånger. I alla försök var det initiella flödet och trycket 0,6 l/s respektive 3,0 mvp då luften trycktes in i systemet. Vid dessa förhållanden lade sig luftfickan i första höjdpunkten. Därefter ökades flödet tills luftfickan flyttades därifrån. I de flesta fall fastnade fickan i fogen mellan plexiglasrören i den nedåtgående ledningen. Ibland innan fogen och i något enstaka fall delades luftfickan upp i flera luftbubblor vilka stannade innan fogen. Därefter ökades flödet tills luften avlägsnades via luftaren. Hela förloppet kan ses i mätresultat i bilaga 13:1 samt i figur 12. Efter de tre upprepade försöken med given lutning och luftvolym öppnades kranen för lufttillförsel för att få ett givet luftflöde in i systemet, $Q_L = 0,00125 \text{ Nm}^3/\text{s}$. Med samma vattenflöde som krävdes för att avlägsna luftvolymen $5 \times V_L$ bildades en luftficka längs hela den nedåtgående plexiglasledningen. När denna ficka stabiliserades avlägsnades den luft som tillfördes via luftaren. När kranen för lufttillförseln stängdes avlägsnades all synlig luft i systemet.

¹³ Kalinske A. A., Bliss P. (1943)

¹⁴ Kalinske A. A., Robertsson J. (1943)

¹⁵ Wisner P.E., et al. (1975)

¹⁶ DVGW Regelwerk (1986)

Ytterligare observationer vid försöken var att i flera fall då pumpen stängdes av pös luft ur luftaren även om ingen luft var synlig i systemet. Möjligtvis har små luftbubblor samlats i slangen efter luftaren på grund av att strömningshastigheten förbi luftaren var för hög.

4.3.2 Försöksserie 2

Efter att ha studerat resultaten från de inledande försöken beslutades att göra en ny omgång försök med samma lutningar och luftvolymen som tidigare. Avsikten var att försöka få en mer noggrann inställning av gränshastigheten. I den följande försöksserien ökades flödet från det initiala flödet 0,6 l/s med luftfickan i höjdpunkten till ett lägre flöde än tidigare resultat visat var nödvändigt för att förflytta luftvolymen. Anledningen var att se om luftfickan med tiden blev mindre och till slut förflyttas från höjdpunkten. I de tidigare försöken ökades flödet tills fickan direkt flyttades från höjdpunkten.

Till en början separerade små bubblor från luftfickan vid vattensprånget som bildades då vattenflödet ökades från 0,6 l/s. En del av de små luftbubblorna växte samman till en större bubbla. När den nya luftbubblan blev tillräckligt stor åkte den tillbaka till höjdpunkten och slogs samman med den ursprungliga luftfickan. Luftfickan i höjdpunkten blev mindre efter hand eftersom en del luftbubblor transporterades vidare i systemet. Så småningom när den nått en viss storlek förflyttades den från höjdpunkten ner i nedåtgående ledning. Försök med samma lutningar och luftvolymen som i försöksserie 1 upprepades i försöksserie 2, som beskrivs i tabell 6.

4.3.3 Kompletterande försök.

Efter försöksserie två gjordes några kompletterande försök för att studera hur snabbt luftfickan transporterades vidare i nedåtgående ledning och för att studera hur trycket varierade vid kontinuerlig lufttillförsel. Först gjordes tre försök med ledningslutning 6 % och luftvolym V_L , $3V_L$ respektive $5V_L$. Samma förutsättningar som i tidigare försök skapades, $q_w = 0,6$ l/s och trycket 3 mvp. Kranen öppnades sedan 0,5 s, 1,5 s respektive 2,5 s för att trycka in den bestämda luftvolymen. Precis som i de tidigare försöken lade sig då luftfickan i första höjdpunkten. Flödet ökades sedan till det kritiska flöde som försöksserie två resulterat i. När luftfickan sedan började flytta på sig uppmättes tiden för fickan att nå fogen i nedåtgående ledning, cirka två meter. Vid detta tillfälle i det sista försöket öppnades kranen för lufttillförseln så att ett kontinuerligt luftflöde in i systemet kunde åstadkommas. Vattenflödet q_w var då 4,5 l/s och luftflödet q_L var 6,25 m³/s. Efter 25 minuter ökades flödet för att avlägsna den återstående luften via luftaren.

4.4 Resultat

4.4.1 Försöksserie 1

En sammanställning av resultaten från de inledande försöken i försöksserie 1 redovisas i tabellform i bilaga 14:1. De är redovisade som både flöde och hastighet beroende av luftvolym och ledningslutning. Flödet varierar mellan 4,47 och 5,84 l/s vilket motsvarar 0,64-0,84 m/s.

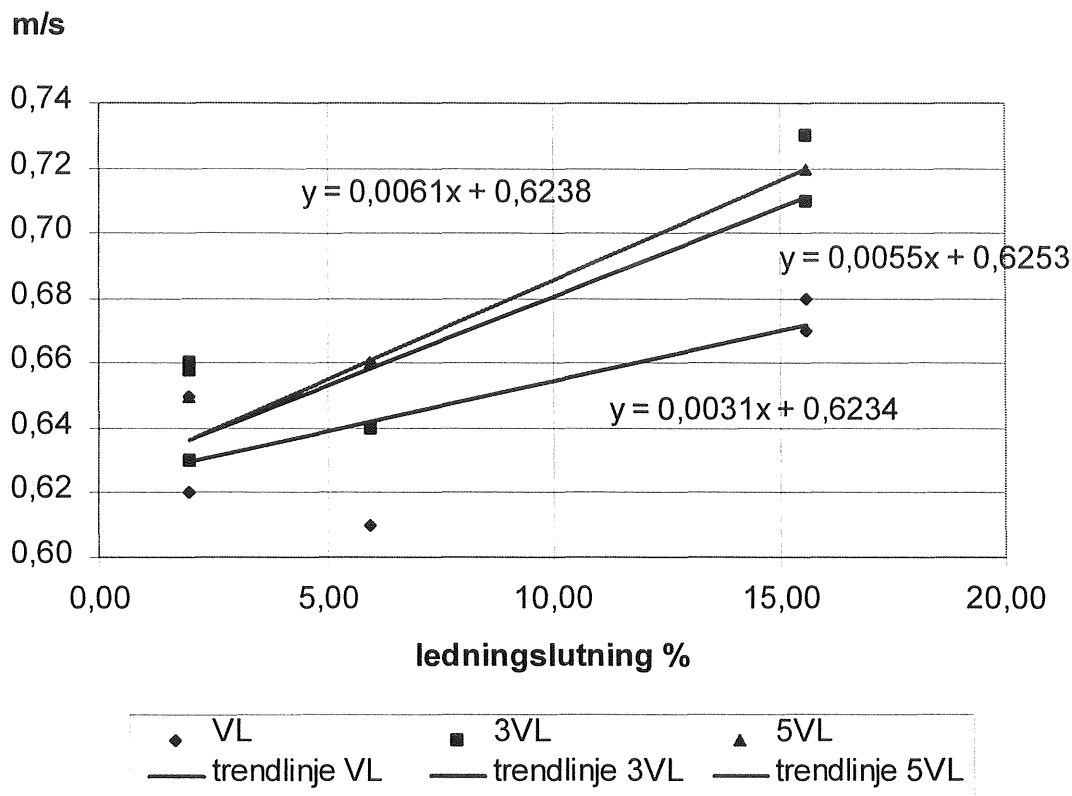
Vid detta flöde är trycket uppmätt till 3,4-3,5 mvp. Resultatet visar en tendens till ökning av gränshastigheten vid ökande ledningslutning men kanske ej så stor ökning som var väntat. Variationerna för respektive lutning och luftvolym är stora och en tydlig ökning av gränshastigheten går inte att se. I vissa fall minskar det kritiska flödet för större lutning och luftvolym.

Trycket varierar med flödet. Inga större avvikelser kan utläsas av mätningarna som gjordes vid försöken, se bilaga 13:1. Trycket har därför ej redovisats med de övriga resultaten i bilaga 14.

Kranen för lufttillförseln är endast öppen 0,5 sekunder för att få luftvolymen V_L . Eftersom det är så kort tid och därmed svårt att mäta kan det vara en orsak till att resultatet för luftvolym V_L och $3V_L$ inte skiljer sig markant.

4.4.2 Försöksserie 2

Mätresultaten från försöksserie 2 varierar inte lika mycket som försöksserie 1. Här närmar sig resultaten, för varje lutning respektive luftvolym, tydligare ett kritiskt flöde. Detta kan ses i bilaga 14:2 där resultatet redovisas som både flöde och hastighet. Det kritiska flödet varierar mellan 4,2 och 5,1 l/s. Omräknat till hastighet blir detta 0,61-0,73 m/s. trycket är uppmätt till 3,4-3,65 mvp. Mättningsresultat från två av försöken visas i bilaga 13:2. Flöde och tryck varierar mycket lite under respektive försök. De framtagna hastigheterna analyserades i datorprogrammet EXCEL. Värdena lades in som punkter i diagram, hastighet som funktion av ledningslutning. Därefter beräknades de linjära trendlinjerna för värdena för respektive luftvolym. Detta gjordes med hjälp av minsta kvadratmetoden. Trendlinjerna för de olika luftvolymerna visas i figur 13 och i bilaga 14:3. Diagrammet visar att hastigheten för transport av luftvolym ökar med ökad ledningslutning. Trendlinjen blir brantare för ökande luftvolym. Det vill säga högre hastighet krävs för transport av större luftvolym vid given lutning.



Figur 13 Trendlinjer av mätresultat från försöksserie 2.

4.4.3 Kompletterande försök.

Resultaten från de tre första försöken, då tiden mättes för fickans transport, blev 82 s, 60 s respektive 60 s för de olika luftvolymerna. Sträckan som luftfickan transporterades var två meter hastigheten blir då 0,024 respektive 0,033 m/s. En luftbubbla transporteras 1 km på 9,2 timmar med hastigheten 0,03 m/s. Resultatet av det sista försöket visas i bilaga 13:3. Flödet ökas från 0,6 l/s till 4,5 l/s, markerat med A i diagram. När luftfickan senare flyttades ner i nedåtgående ledning öppnades kranen för lufttillförsel. Detta är markerat med B. Till en början bildades en stor luftficka i nedåtgående ledning som fyllde upp något mer än halva rörsektionen. När fickan sedan stabiliserades avlägsnades den luft som tillfördes via luftare eller transporterades vidare i systemet. Tyvärr gick detta ej att se eftersom det ej var transparenta rör efter luftaren. Eftersom luftaren pös efter att pumpen stängts av kan man misstänka att luft samlades efter luftaren i nedåtgående slang eller följande PEH-rör. Möjligtvis kan det bero på luftarens kapacitet.

När kranen för luften öppnades steg trycket markant från 3,4 till 5 mvp och när kranen sedan stängdes, punkt C i diagram, sjönk trycket sakta till 2,6 mvp, vilket är något över det tryck som var innan kranen öppnades, se punkt D i diagram. Efter 25 minuter fanns fortfarande en luftbubbla kvar som ej avlägsnats med det kritiska flödet. När denna började flytta sig uppåt mot höjdpunkten ökades flödet tills den avlägsnades via luftaren.

När försöken utfördes uppmättes ett medelflöde vilket sedan räknades om till medelhastighet. Hänsyn har ej tagits till att hastigheten varierar i röret. Hastighetsfördelningen beror av vilket strömningstillstånd som är aktuellt i röret. I de utförda försöken var strömningen turbulent.

Om försöksresultaten ska överföras till verkligt rörnät krävs ytterligare fördjupning och försök. De ovan beskrivna försöken med en viss luftvolym har vid givna förhållanden resulterat i ett kritiskt flöde/gränshastighet för lufttransport. Ändras förutsättningarna och krafterna som påverkar luftbubblan kan ej gränshastigheten för transport direkt överföras utan fortsatta studier.

4.5 Jämförelse med tidigare experiment och studier

En jämförelse har gjorts med de tidigare studerade teorierna om gränshastighet för hydraulisk transport av luftfickor i vattenledningar. De jämförda hastigheterna är gränshastigheten enligt

Kalinske och Bliss¹⁷ formel $\frac{Q_c^2}{g \times D^5} = 0,707 \times \tan \alpha$ och gränshastigheten ur diagram i figur 6.

Dessa redovisas i tabell i bilaga 15. Kalinske och Bliss gränshastighet beror av ledningsdimension och lutning. I jämförelse med försöksresultaten är dessa hastigheter mycket lägre. Det tyska diagrammet för gränshastighet kan jämföras med resultaten från försök med luftvolym V_L , se diagram i bilaga 15. Även i detta fall är de beräknade hastigheterna lägre än de resultat som försöken har gett. Dessutom är resultaten från försöken ej så beroende av lutningen som diagram i figur 6 visar. I figur 12 visas försöksresultat i jämförelse med hastighet enligt diagram i figur 6.

¹⁷ Kalinske A. A., Bliss P. (1943)

5 Slutsatser

Kontrollerna på ledningsnätet visade att det ej samlats luft i någon av de aktuella ledningshöjdpunkterna. Möjligtvis var de automatiska luftarna stängda för kort tid för att en märkbar mängd luft skulle ha samlats eller så har luftbubblorna transporterats vidare hydrauliskt. Kanske hade resultatet varit annorlunda om fältstudierna hade utförts i samband med återfyllning av tömd ledning, till exempel efter reparationsarbete eller nyläggning. En del av de stängda luftningsanordningarna är gamla och utformade utan gren- eller t-rör för kontroll, därför har ej funktionskontroll utförts på luftarna. För att göra detta kan man stänga ledningen och avsiktligt föra in luft som ska avlägsnas via luftaren om denna sitter på ledningens höjdpunkt. I annat fall måste luftaren monteras ner och tas till verkstad för kontroll.

Det kan alltså finnas flera orsaker till att ingen luft påträffades vid fältstudierna.

- Det fanns ingen luft i dricksvattnenätet under den tid luftarna var stängda.
- Det fanns luft men luftaren var stängd för kort tid för att det skulle ha samlats en märkbar mängd.
- Det fanns luft som transporterades vidare hydrauliskt.
- Det fanns luft men luftaren fungerade ej vid kontrollen. Även manuella luftare och brandposter undersöktes men ingen luft påträffades där heller.
- Fältstudierna utfördes inte på rätt platser på röret.

Den beräknade hastigheten i ledningarna vid ett relativt normalt dygn jämfördes med gränshastigheten enligt Kalinske och Bliss och figur 6. I de flesta fall är den beräknade hastigheten lägre än båda gränshastigheterna. Detta tyder på att den beräknade hastigheten i ledningarna ej är tillräcklig för hydraulisk transport av eventuella luftfickor. Slutsatsen är att det troligtvis ej funnits luft vid kontrollerna.

Svar på enkäten har gett en uppfattning om att problem med luft i röret vid normala driftförhållanden inte är vanligt. När problem uppstår är det oftast i samband med reparationer då ledningen varit tom. Vad gäller strategi vid projektering av vattenledningar strävar man i en del kommuner efter att minimera antalet luftare. Flera anser att luftning sker via servisledningar och brandposter. Det är vanligt att automatiska luftare sätts på huvudledningar och på mindre dimensioner sätts manuella luftare eller brandposter. Ibland görs inget alls på mindre dimensioner. Av de tillfrågade kommunerna var det ingen som hade speciella krav på lutning eller strömningshastighet. Automatisk luftare sätts i allmänhet på större dimensioner i höjdpunkt. Dimensionskraven varierar.

Antal luftare med hänsyn till ledningslängd varierar. Några kommuner har betydligt fler luftare än övriga. Göteborgs kommun är en av dem. Vad gäller utformning av luftningsanordning förekommer båda typerna, se bilaga 1 och 2. Med hänsyn till säkerhet är den med brunn vid sidan om bättre då huvudledning ej behöver stängas av vid nedstigning i brunn. Enkätsvaren tyder på att det är vanligt med regelbunden tillsyn eller att det ska införas. Detta är viktigt med hänsyn till driftsäkerhet och säkerhet vid arbete med anordningarna.

Försöksresultaten har visat att gränshastigheten är beroende av dels luftvolym och dels ledningsslutning. Trendlinjerna i figur 12 blir brantare när luftvolymen ökar. I jämförelse med de tidigare beräknade gränshastigheterna är försöksresultaten i de flesta fall högre. Vid större lutning blir

överensstämmelsen bättre. Gränshastigheten enligt figur 6 är mer lutningsberoende än försöksresultaten. I ett av de kompletterande försöken tillfördes en större volym luft vid det kritiska flödet. All luft avlägsnades ej. Även i detta fall var lufttransporten beroende av volymen.

För att överföra försöksresultaten till verkligt rörnät med andra förhållanden krävs ytterligare fördjupning och försök.

6 Förslag till åtgärder och fortsatta studier

De automatiska luftarna och även de få manuella luftare som finns på rörnätet bör ses över. Förutom undersökning av luftarnas kondition bör de dokumenteras i samband med översynen. Dels för att veta hur många det finns och var de är placerade och dels för att få en uppfattning om luftarnas kondition och vilka åtgärder som behöver vidtagas.

Vad gäller luftare på mindre dimensioner, distributionsledningar, så föreslås att dessa tas bort. Även de på större ledningar där serviser och brandposter är tätt placerade. De automatiska luftarna på huvudledningar behålls.

Tillsyn av luftarna bör införas. Till exempel en gång per år eller i samband med översyn av huvudledning. Om inte luftningsanordningarna är utformade med gren- eller t-rör för kontroll bör det sättas dit.

Vid projektering av nya vattenledningar föreslås att fortsätta sträva efter att minimera antalet luftare. I första hand bör brandposter installeras istället för automatiska luftare. Avluftare bör sättas i väl utvecklade höjdpunkter på huvudledningar. En bedömning från fall till fall måste göras för att avgöra vilken utformning som är lämpligast, automatiska luftare eller manuella luftare. Brandposter sätts på mindre dimensioner där servisledningar ansluts tätt. Avluftningen anses då ske via serviserna. Om beräkningar skall göras för att ta hänsyn till strömningshastighet föreslås att diagrammet i figur 6 används, se kapitel 3.

Förslag på fortsatta studier är ytterligare kontroller på rörnätet. Eventuellt i samband med reparationsarbete eller vid nyläggning. Vidare kan lämpliga VNET-beräkningar jämföras med försöksresultat och tidigare experiment och studier för att jämföra strömningshastighet i ledningar. Förslagsvis kan en del av ledningsnätet läggas i datorprogrammet EPA.NET, ett program för beräkning och simulering av vattenledningsnät som finns tillgängligt på Internet. Förbrukningen under dygnet kan simuleras och strömningshastighetens variation i ledningarna sedan studeras.

Vidare föreslås att göra ytterligare försök med testmodellen, till exempel utföra försök med högre tryck eller större rördimension med i övrigt samma förutsättningar och sedan studera resultat och teori för att överföra till verkligt rörnät.

Referenser

Armaturer Vattenledningar (1985), R85 AV, Göteborgs vatten- och avloppsverk, 1985

Göteborgs vatten och avloppsverk (1985): "Byggnadsbeskrivning för va-ledningsarbeten", GVA B85

Häggström S.(1988):"Hydraulik för V-teknologer", Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola, Undervisningsskrift nr 1988:6

Jönsson L.(1993):"Luft- och sedimentansamlingar i tryckledningar", VAV VA-Forsk, Rapport nr. 1993-02

Kalinske A. A., Bliss P. H.(1943):"Removal of air from pipelines by flowing water", Civil Engineering, ASCE, vol 13, no 10, oct 1943

Kalinske A. A., Robertsson J.(1943):"Closed conduit flow", Transactions of ASCE, vol 108, 1943

Kompendium VA-ledningsteknik (1995), Institutionen för vattenförsörjnings- och avloppsteknik, Chalmers tekniska högskola, 1995

Källberg O., Ljungren O.(1979):"Läkesbacken. Luftare på V-ledning Ø 600 mellan Lillhagen och Slätta damm.", Göteborgs vatten och avloppsverk, 1979

Stephenson D.(1981):"Pipeline design for water engineers", Developments in water science vol 15, 1981

DVGW Regelverk (1986), Tech. Mitteilungen Merkblatt W 403, Juli 1986

VA AMA 66 (1966), Allmän material- och arbetsbeskrivning för yttre vatten- och avloppsledningsarbeten jämte råd och anvisningar, VA AMA-kommittén genom Svenska Vatten- och avloppsverksföreningen, Stockholm 1966

VAV P34 (1990), Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, Publikation VAV P34, Kallvattenmätare Anvisningar med kommentarer, okt. 1990

VAV P38 (1979), Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, Publikation VAV P38, Allmänna vattenledningsnät, Anvisningar för utformning och beräkning, nov. 1979

VAV P39 (1979), Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, Publikation VAV P39, Skötsel och underhåll av va-nät, Råd och synpunkter, sept. 1979

VA-VERK 1994 (1995),Statistiska uppgifter över kommunala vatten- och avloppsverk, VAV, Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen, Statistik VAV S94, nov 95

Wisner P.E., et al.(1975):"Removal of air from water lines by hydraulic means", J of the Hydraulics Division, Feb 1975, HY2

Årsberättelse 1995, Göteborgs vatten- och avloppsverk

Bilageförteckning

Bilaga:

- 1 Avluftningsventil Belos Hawle.
- 2 Typritning på luftningsanordning ur GVA B85.
- 3 Ritning på luftningsanordning.
- 4 Följebrev
- 5:1-2 Enkät
- 6 Beräkning av löst mängd luft beroende av temperatur och tryck.
- 7:1-3 Exempel på beräkning av gränshastighet.
Profil V400 Fjällgatan.
Kartblad
- 8:1-2 Beräkning av erforderlig kapacitet för luftningsanordning enligt VAV.
- 9:1-2 Typskiss av testmodell.
Fotografi på del av tesmodell.
- 10 Pumpkurva
- 11:1-2 Beräkning av luftflödet vid försök med testmodell.
Kalibreringsdiagram för rotameter.
- 12 Mätutrustning
- 13:1-3 Mätresultat från försöksserie 1.
Mätresultat från försöksserie 2.
Mätresultat från kompletterande försök.
- 14:1-3 Resultat från försöksserie 1.
Resultat från försöksserie 2.
Trendlinjer
- 15 Jämförelse med tidigare experiment och studier.

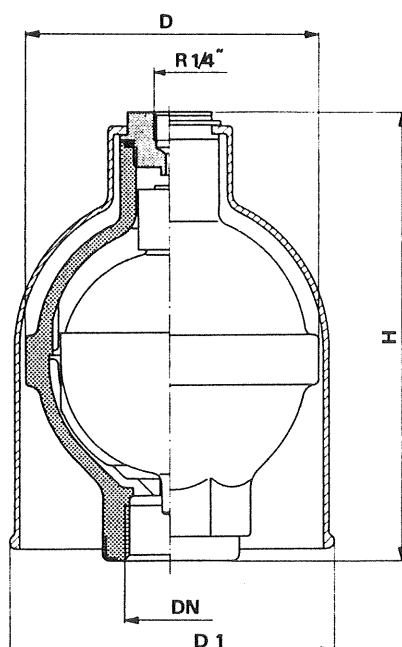
Avluftsventil Belos Hawle

Nr	DN	Utförande	Medium	Arbetstryck	
9876	1"	standard	kallt vatten	PN 0,1 – PN 6	•
				PN 0,8 – PN 16	•
9876	2"	standard	kallt vatten	PN 0,1 – PN 6	•
				PN 1 – PN 16	•
9874	2"	med flänsar DN 50 (GGG 400)	kallt vatten	PN 0,1 – PN 6	•
				PN 1 – PN 16	•

Den invändiga gången är förstärkt med en ring i rostfritt stål.

Installation: Ventilen placeras vertikalt vid ledningens högsta punkt, företrädesvis med en avstängningsventil mellan avluftsventilen och röranslutning.

Nr 9876
DN 1"



Skyddskåpa i polyeten mot UV-strålning

DN 1" för mindre luftmängder

Max avlufts-kapacitet:
0,13 m³/min

Provtryck:
Ventilhus 24 bar

Arbetstryck:
0,1 – 6 bar
0,8 – 16 bar

Material:

Ventilhus: Acetal

Avluftsöppning
och låsskruv: CuAl10

Flottör: Acetal

Tätning: EPDM

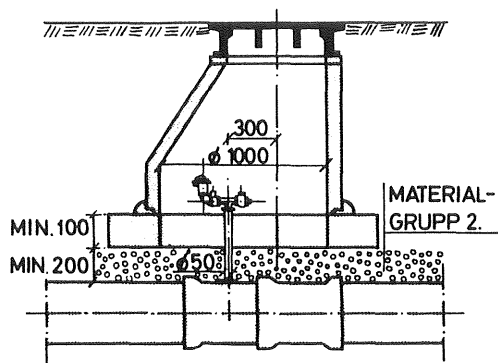
Skyddskåpa: Polyeten

Ange arbetstryck vid beställning.

DN	PN	Arbets-tryck	Storlek öppning	Ø D	Ø D1	H	Vikt kg
1"	6	0,1-6	1,77 mm²	109	122	172	0,9
1"	16	0,8-16	1,77 mm²	109	122	172	0,9

Typritning på luftningsanordning ur GVA B85.¹

Luftningsanordning i brunn direkt på ledning.



RÖRINREDNING: LUFTN. VENTIL RSK 428 74 39, VINKEL RSK 198 21 15,
AVST. VENTIL RSK 430 04 71, T-RÖR RSK 198 43 19, 6-KANTNIPPEL RSK 198 53 16.

BRUNN: GUMMIRINGSFOGAD. BOTTENPLATTA AV BETONG 1600 × 1600.

ISOLERING: VENTILEN FÖRSES MED HUV AV ICKE VATTENABSORBERANDE
MATERIAL, TYP STYROFOAM 100 mm. HUVEN LIMMAS SAMMAN OCH
FÖRSES MED HANDTAG – AV SAMMA MATERIAL – UPPTILL.

HUVENS INVÄNDIGA MÅTT: FÖR 25 mm VENTIL 150 × 150 mm.

-II- 38-50 mm -II- 200 × 250 mm

HUVENS HÖJD AVPASSAS SÅ ATT ETT AVSTÅND PÅ 100 mm MELLAN
VENTIL OCH HUVTAK ERHÅLLES.

LUFTNINGSANORDNING

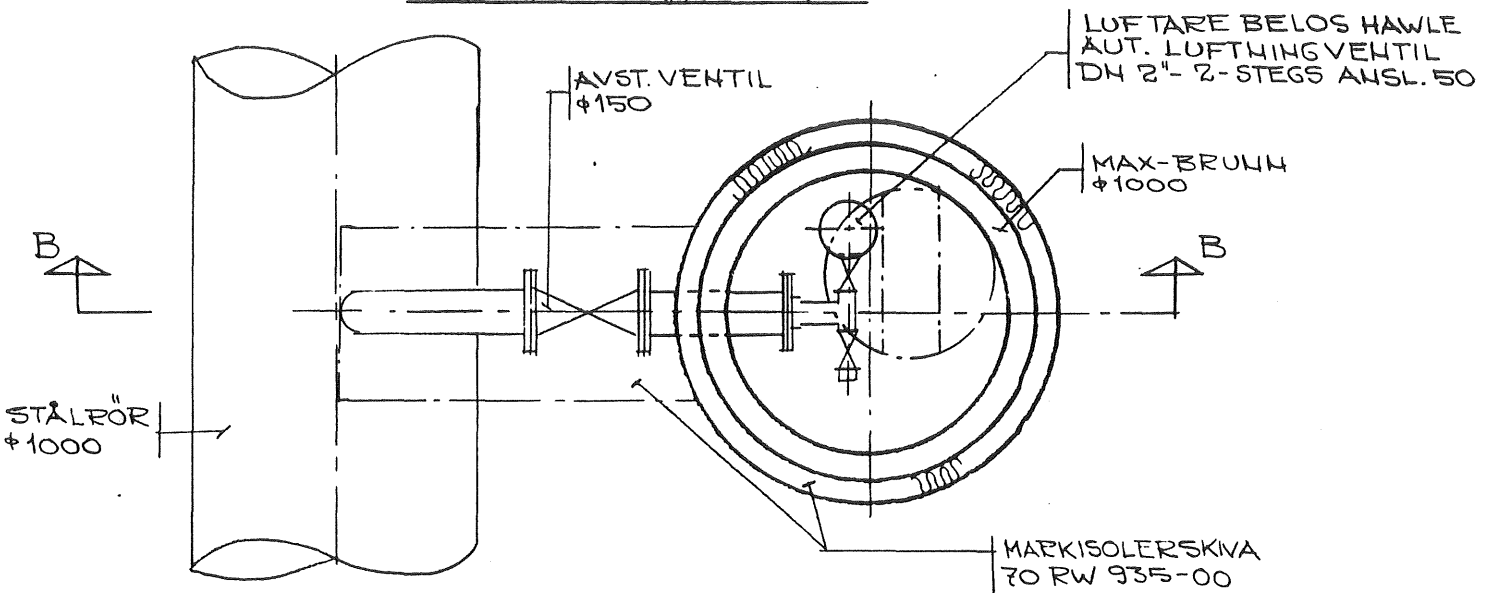
¹ Göteborgs va-verk 1985: Byggnadsbeskrivning för va-ledningsarbeten GVA B85.

Ritning på luftningsanordning

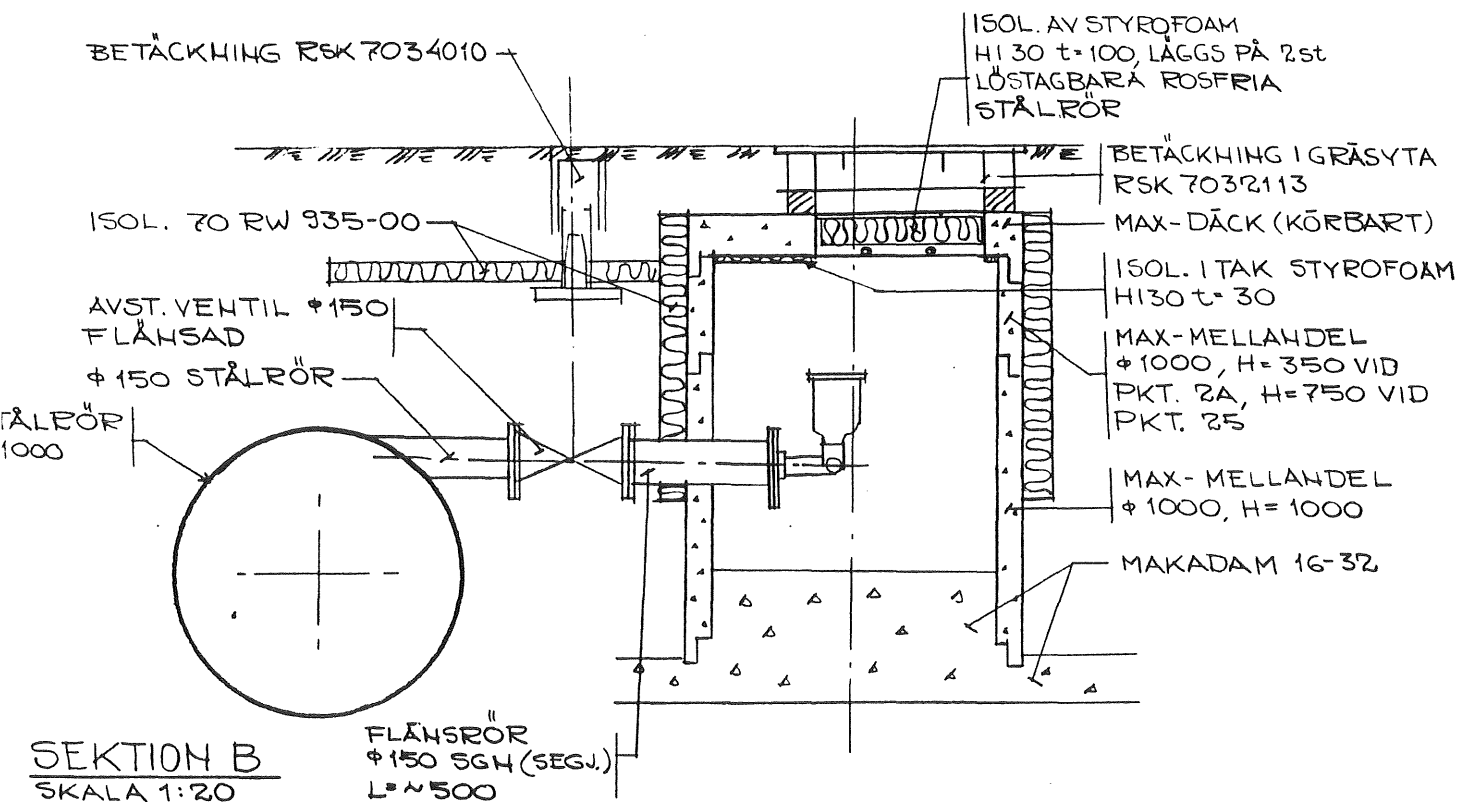
Luftare i brunn vid sidan om ledningen.

DETALJ 1

LUFTNINGSANORDNING



PLAN A SKALA 1:20

SEKTION B
SKALA 1:20

Carina Kristensson
Examensarbetare
tel. 031-627097

4 oktober 1996

Namn
Gatukontoret
Va-avdelningen
Postadress

Angående luftare på vattenledningar.

Jag läser väg- och vattenbyggnadslinjen på Chalmers. I mitt examensarbete, som jag gör i samarbete med Göteborgs vatten- och avloppsverk, tar jag upp problemet med luft i dricksvattenledningar. Behovet av de befintliga luftarna undersöks samt vilka kriterier som ska vara uppfyllda för att sätta luftare på vattenledning. Examensarbetet omfattar även ett experiment med luft- och vattenströmning i en testmodell.

För att få bättre underlag är jag tacksam om Ni skulle vilja ta Er tid och svara på en enkät. Enkäten behandlar problem med luft samt luftare på vattenledningar. Mina handledare, Olle Ljunggren på Göteborgs vatten- och avloppsverk och Gilbert Svensson på Chalmers, har rekommenderat att skicka enkäten till Er. Eftersom jag är angelägen om att få svar kontaktar jag Er per telefon vecka 44 angående detta. Det går naturligtvis lika bra att svara med brev eller fax.

Med vänlig hälsning

Carina Kristensson

Bifogar enkät.

Enkät

1. Har ni i er kommun haft problem med luft i dricksvattenledningar?

Nej ☐

Ja vi har haft problem med

2. Vad är er policy vad gäller luftare alternativt brandpost vid nyprojektering av vattenledningar?

3. Om ni sätter luftare på dricksvattenledningar vilka kriterier ska då vara uppfyllda för att sätta luftare? Exempelvis krav på dimension, vattenhastighet och ledningslutning.

4. Hur många luftare har ni uppskattningsvis på ledningsnätet?

5. Var placeras och hur utformas luftningsanordningarna? Rita gärna en skiss.

Luftaren sitter direkt på ledningen ☐

Luftaren sitter i en brunn vid sidan om ledningen ☐

Annan utformning

6. Utförs tillsyn av luftarna?

Nej ☐

Ja ☐

Om ni svarat ja. I vilken omfattning utförs tillsynen?

7. Har ni i er kommun undersökt behovet av de befintliga luftarna på ledningsnätet?

Nej ☐

Ja ☐

Om ni svarat ja. I vilken omfattning och hur?

Tack för visat intresse!

Beräkning av mängd löst luft i vatten beroende av temperatur och tryck.

Vattnets möjlighet att lösa en viss gas beskrivs enligt Henry's lag.

$$p_i = H \times x_i \quad \text{där} \quad \begin{array}{l} H = \text{konstant, hämtas från tabell för luft} \\ p_i = \text{partialtryck av } i \text{ i gasfas} \\ x_i = \text{molandel av } i \text{ i vätskefas} \end{array}$$

Exempel:

$$\begin{array}{l} \text{Henry's lag} \quad T = 10^\circ\text{C} \\ p_i = 1 \text{ atm} \\ \text{Tabell för luft} \Rightarrow H = 5.49 \times 10^4 \end{array}$$

$$x_i = \frac{p_i}{H} = \frac{1}{5.49 \times 10^4} = 1.82 \times 10^{-5} \text{ mol luft /mol vatten}$$

Molvikt:

Luft

$$21 \% \text{ syre } O_2 + 79 \% \text{ kväve } N_2 \quad 0.21 \times 2 \times 16 + 0.79 \times 2 \times 14 = 28.84 \text{ g/mol}$$

Vatten

$$H_2O \quad 16 + 2 \times 1 = 18 \text{ g/mol}$$

$$\frac{\frac{M_L}{28.84}}{\frac{M_w}{18}} = 1.82 \times 10^{-5} \Rightarrow \frac{M_L}{M_w} = 1.82 \times 10^{-5} \times \frac{28.84}{18} = 2.92 \times 10^{-5} \text{ g luft/g vatten}$$

$$1 \text{ l vatten} \equiv 1 \text{ kg}$$

$$M_L = 2.92 \times 10^{-5} \times 1000 = 29.2 \text{ mg luft/l vatten}$$

Exempel på beräkning av gränshastighet

Fjällgatan

På matarledningen, V400 SGN, mellan Fjällgatans och Kabelgatans tryckstegringsstation finns en manuell luftningsanordning, se bilaga 7:3. Inga servisledningar är anslutna till vattenledningen från Bangatan upp till Fjällgatans pumpstation. Den manuella luftaren sitter på ledningens höjdpunkt på nivån + 56.7 m, se profil i bilaga 7:2. Fjällgatan var en av de utvalda platserna för kontroll på nätet. Ingen luft upptäcktes då ventilen öppnades.

Max timförbrukning för ett relativt normalt dygn simulerades i datorprogrammet VNET. Avsikten var att jämföra den beräknade hastigheten i VNET och gränshastigheten. Datorberäkningen visade att flödet i ledningen var 13.1 l/s och hastigheten 0.104 m/s.

Gränshastighet för borttransport av luftficka i höjdpunkten beräknas enligt följande formel samt avläses i diagram, se teorikapitel i rapport.

$$\frac{Q_c^2}{g \times D^5} = 0.707 \times \tan \alpha^1$$

$$Q_c = \sqrt{0.707 \times \tan 3.8 \times 9.81 \times 0.4^5} = 0.069 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow v_{\text{gräns}} = 0.55 \text{ m/s}$$

$$\text{"tyskt diagram"}^2 \quad 6.7 \% \text{ lutning, } d = 0.4 \text{ m} \Rightarrow v_{\text{gräns}} = 0.98 \text{ m/s}$$

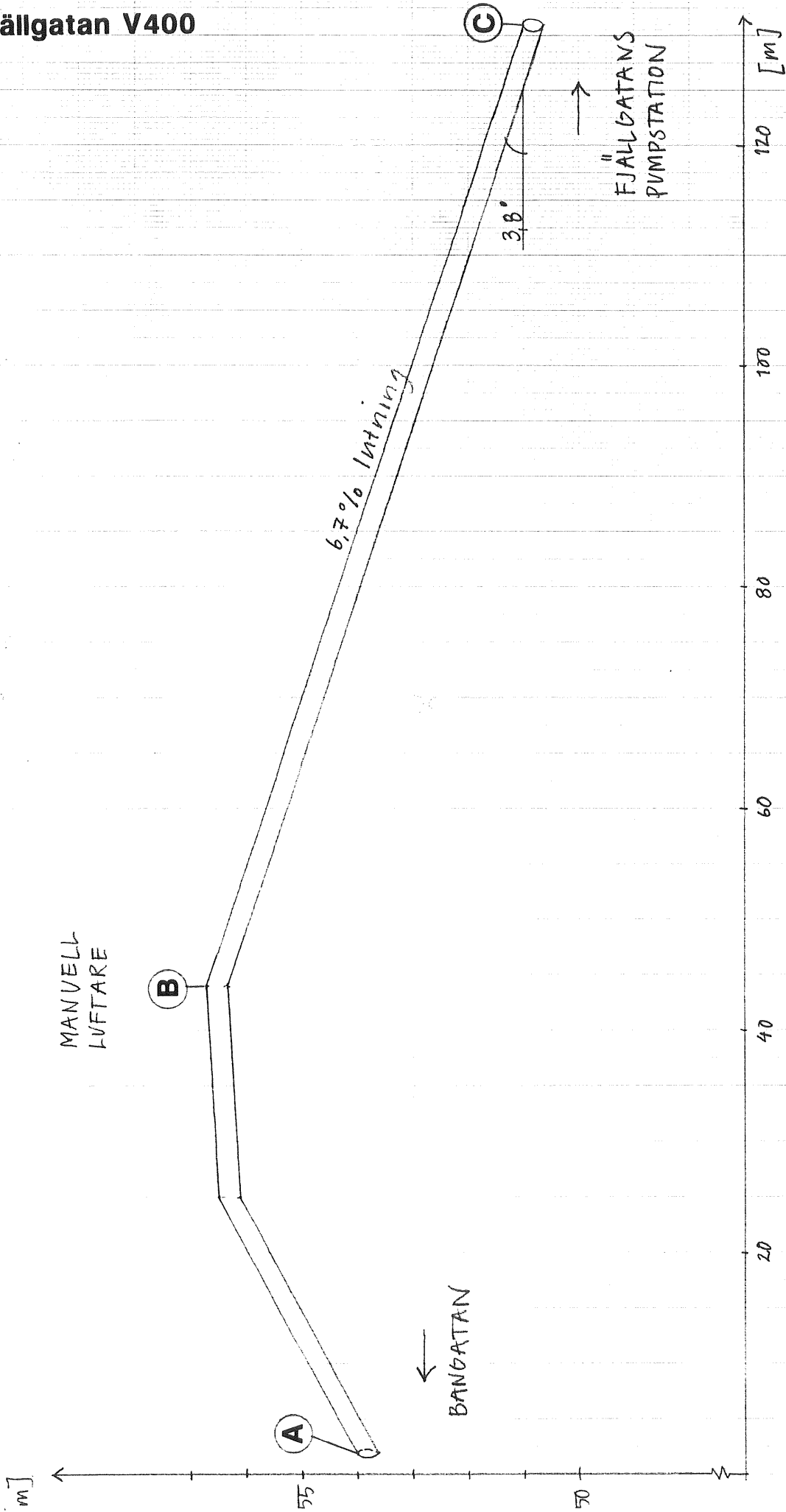
Den beräknade hastigheten i ledningen vid max timförbrukning är mindre än $v_{\text{gräns}}$ enligt Kalinske & Bliss samt $v_{\text{gräns}}$ ur "tyskt diagram".

¹ Kalinske & Bliss, 1943

² Tech. Mitteilungen Merkblatt, 1986

Profil

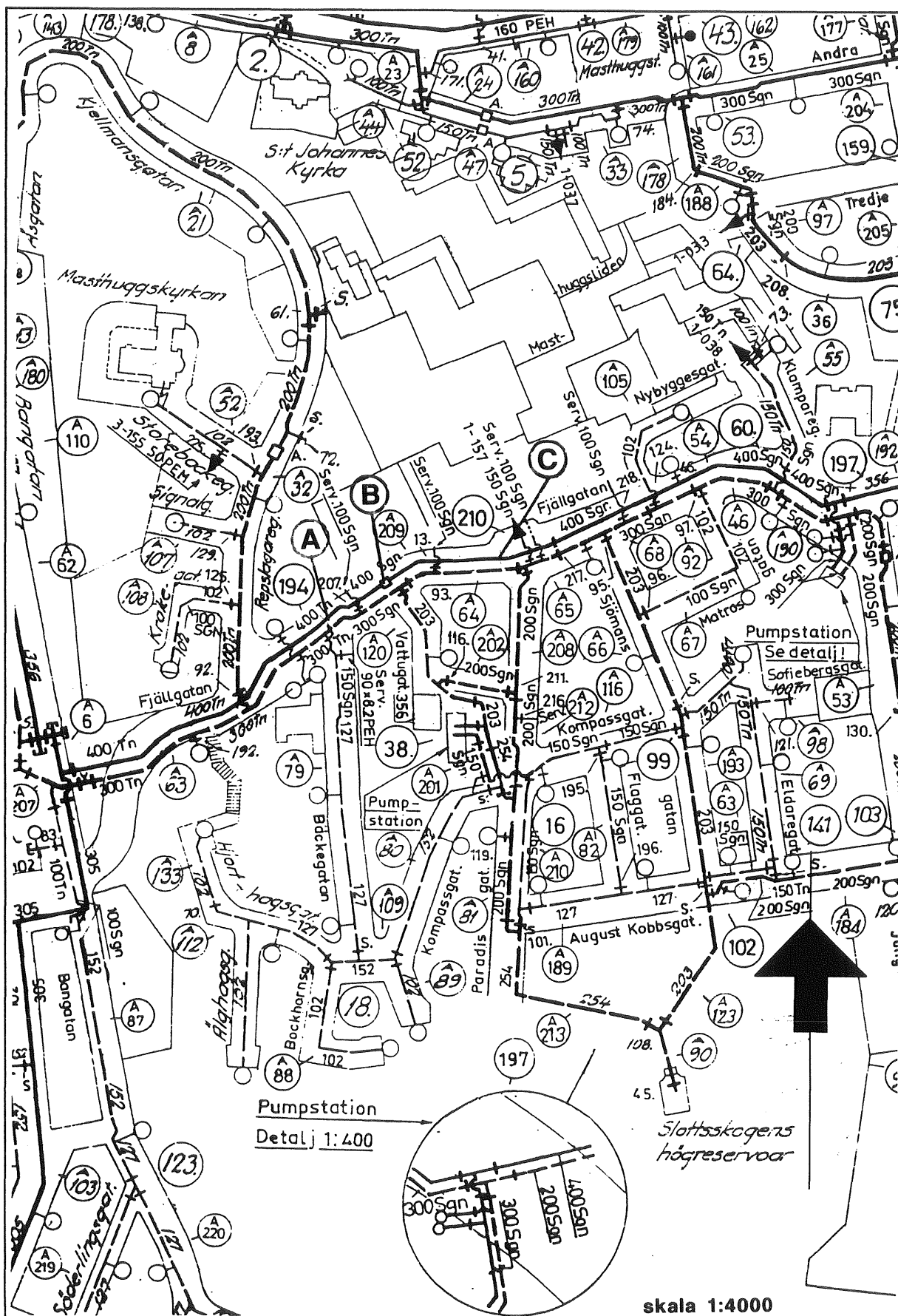
Fjällgatan V400



V400 FJÄLLGATAN
PROFIL

SKALA
H 1:100
L 1:500

Fjällgatan, kartblad 5045D



Beräkning av erforderlig kapacitet för luftningsanordning enligt VAV.¹

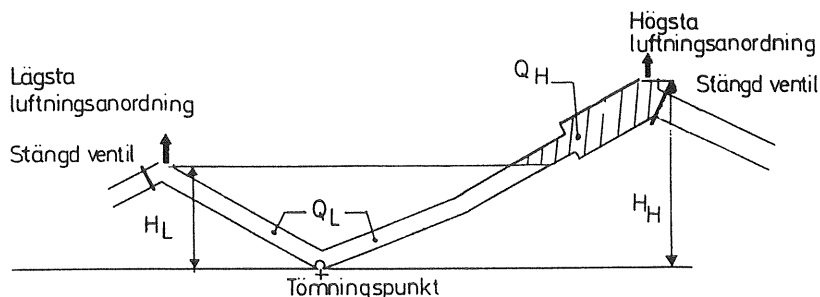


Fig 3.5.:4

a) Fyllning av ledning

Vid fyllning av ledningssträckan under *lägsta* luftningsanordnings nivå deltar båda luftningsanordningarna.

1. Bestäm maximalt tillåten tid T_F för fyllning. T_F bör inte överstiga 1 timme

2. Beräkna erforderlig fyllningskapacitet (medelvärde)

$q_F = \frac{Q_L + Q_H}{T_F}$ och kontrollera att denna fyllningskapacitet verkligen finns — beräkna annars T_F ur tillgänglig kapacitet

3. Beräkna erforderlig kapacitet

$q_H = \frac{Q_L + Q_H}{T_F}$ för *högsta* luftningsanordning

4. Beräkna *medellutningarna* för ledningssträckorna under nivån för *lägsta* luftningsanordning — I_L för sträckan tömningspunkt — *lägsta* luftningsanordning och I_H för sträckan mellan tömningspunkt och mot *högsta* luftningsanordning. (En teoretiskt riktigare beräkning är mödosam.)

5. Beräkna erforderlig kapacitet

$q_L = \frac{q_H \cdot I_H}{I_L + I_H}$ för *lägsta* luftningsanordning

¹ VAV P38, 1979

b) *Tömning av ledning*

Vid tömning av ledningssträckor över lägsta luftningsanordnings nivå deltar endast högsta luftningsanordningen.

1. Beräkna erforderlig kapacitet för *högsta* luftningsanordning

$$q_H = \mu \cdot A \sqrt{2g \cdot H_H}$$

där μ = utströmningskoefficient, (≈ 0.6)

A = tömningsledningens area, (m²)

g = tyngdkraftens acceleration, (9.81 m/s²)

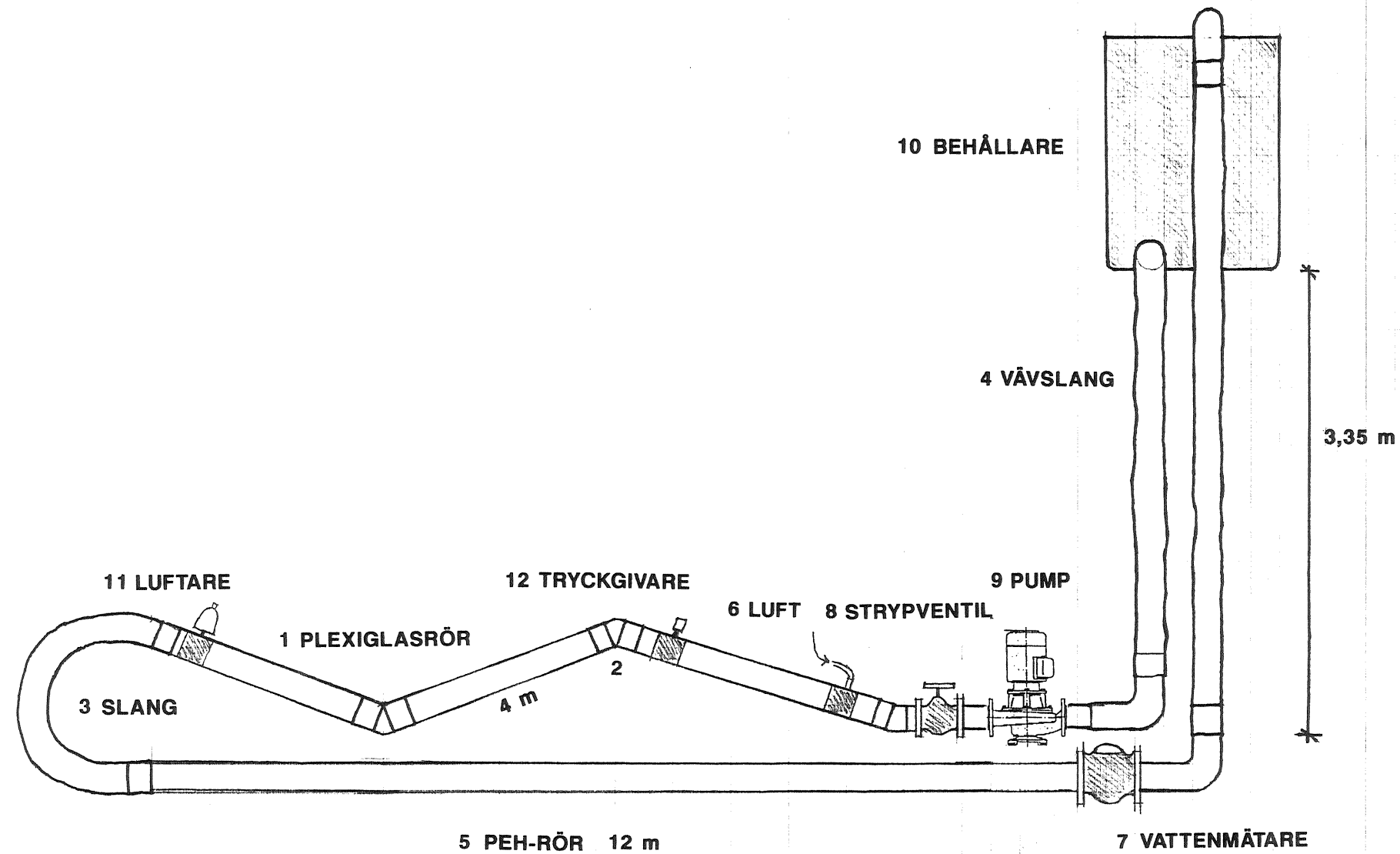
H_H = höjdskillnad mellan tömningspunkt och lednings hjässa vid högsta luftningsanordning, (m)

2. Beräkna erforderlig total luftinströmning vid vattennivå motsvarande *lägsta* luftningsanordnings nivå H_L

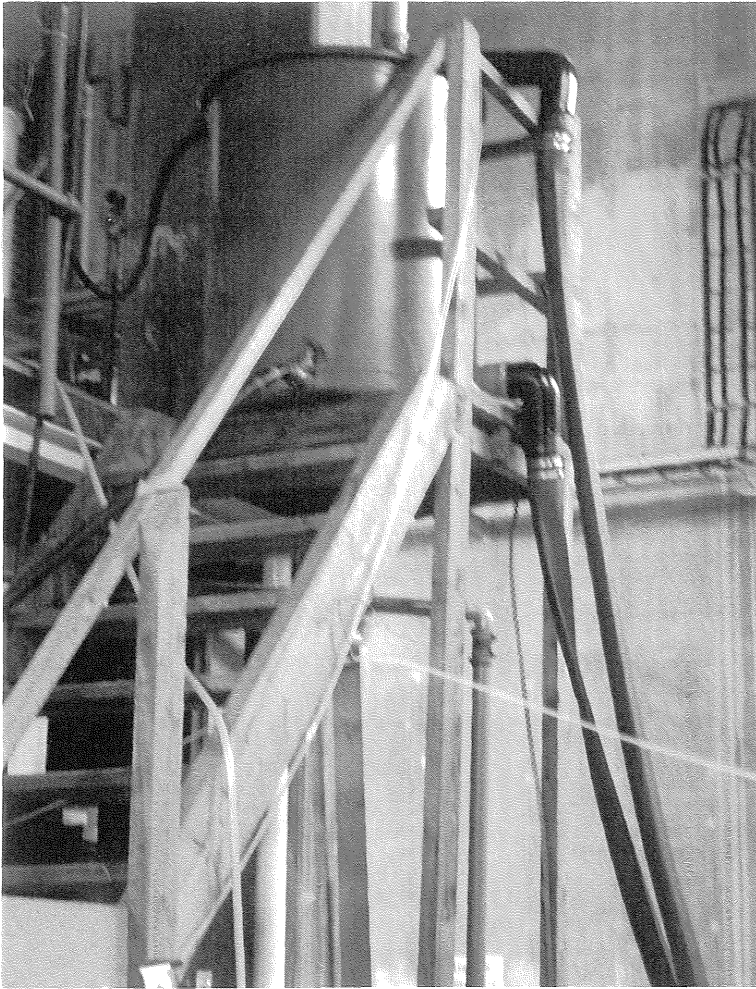
$$q_{HL} = \mu \cdot A \sqrt{2g \cdot H_L}$$

3. Beräkna *medellutningarna* för ledningssträckorna under nivån för *lägsta* luftningsanordning — I_L för sträckan tömningspunkt — lägsta luftningsanordning och I_H för sträckan mellan tömningspunkt och mot högsta luftningsanordning. (En teoretiskt riktigare beräkning är mödosam.)

4. Beräkna erforderlig kapacitet $q_L = \frac{q_{HL} \cdot I_H}{I_L + I_H}$ för *lägsta* luftningsanordning.



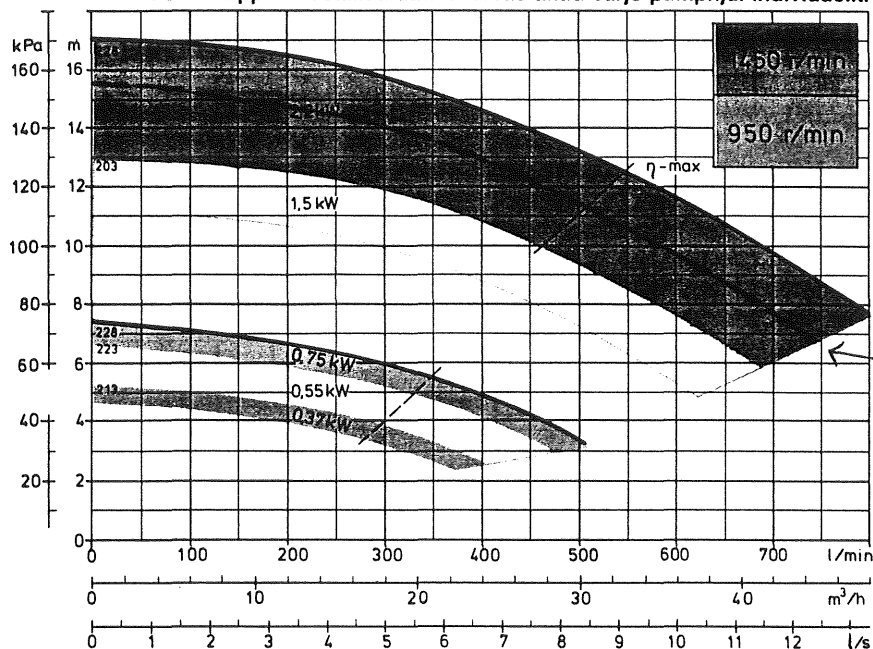
Fotografi på del av modell



Scanpump

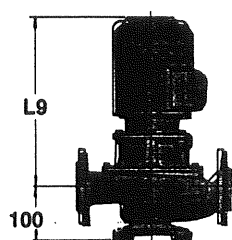
Cirkulationspumpar
Serie Valslarna VM(P) 84

De visade kurvorna är exempel, vars beteckning anger hjuldiametern.
För att uppnå beställda data svaras alltid varje pumphjul individuellt.

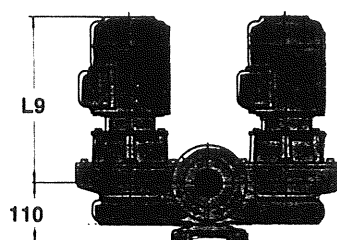


Pump- typ	RSK nr	Max. temp. °C	Tryck- klass PN	Ansl. DN _{1,2}	Mått (mm) L9	Trefasmotor 380V 220V					Vikt (kg) Aggr.
						kW	r/min	A	A		
VM 84	578 1307	120	10	80	352	0,37	950	1,39	2,4	58	
VM 84	578 1315				352	0,55	950	1,95	3,4	58	
VM 84	578 1349				400	0,75	950	2,5	4,3	64	
VM 84	578 1406				300	1,5	1450	4,0	6,9	84	
VM 84	578 1422				352	2,2	1450	5,4	9,3	71	
VMP 84	578 4400	120	10	80	322	0,37	950	1,39	2,4	113	
VMP 84	578 4418				322	0,55	950	1,95	3,4	113	
VMP 84	578 4442				370	0,75	950	2,5	4,3	125	
VM 84	578 4504				370	1,5	1450	4,0	6,9	124	
VM 84	578 4505				352	2,2	1450	5,4	9,3	130	

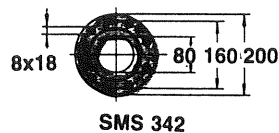
Enkelpump VM



Parpump VMP



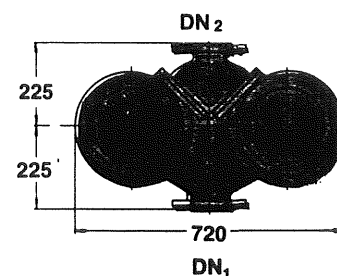
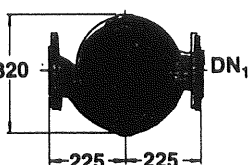
Pumpflänsar



Fot VMP



DN₁ Sug
DN₂ Tryck



Fot VM



Beräkning av luftflödet vid försök med tesmodell

Luftflödet beror av tryck och temperatur.

$$Q_{luft} = Q_N \times \frac{293}{273 + T} \times \frac{101.3 + P}{101.3}$$

Q_N = normalflöde, Nm³/h

T = lufttemperatur, °C

P = tryck, kPa

Normalflödet läses av i rotameterens kalibreringsdiagram, se bilaga 11:2. Kurva två på högra sidan.

Exempel: Stålkulan lyfts upp till 30 mm vid trycket 2 kp/cm².
Kalibreringskurva 2 visar $Q_N = 1.5$ Nm³/h vid 30 mm.

$$1 \text{ kp/cm}^2 = 101.3 \text{ kPa}$$

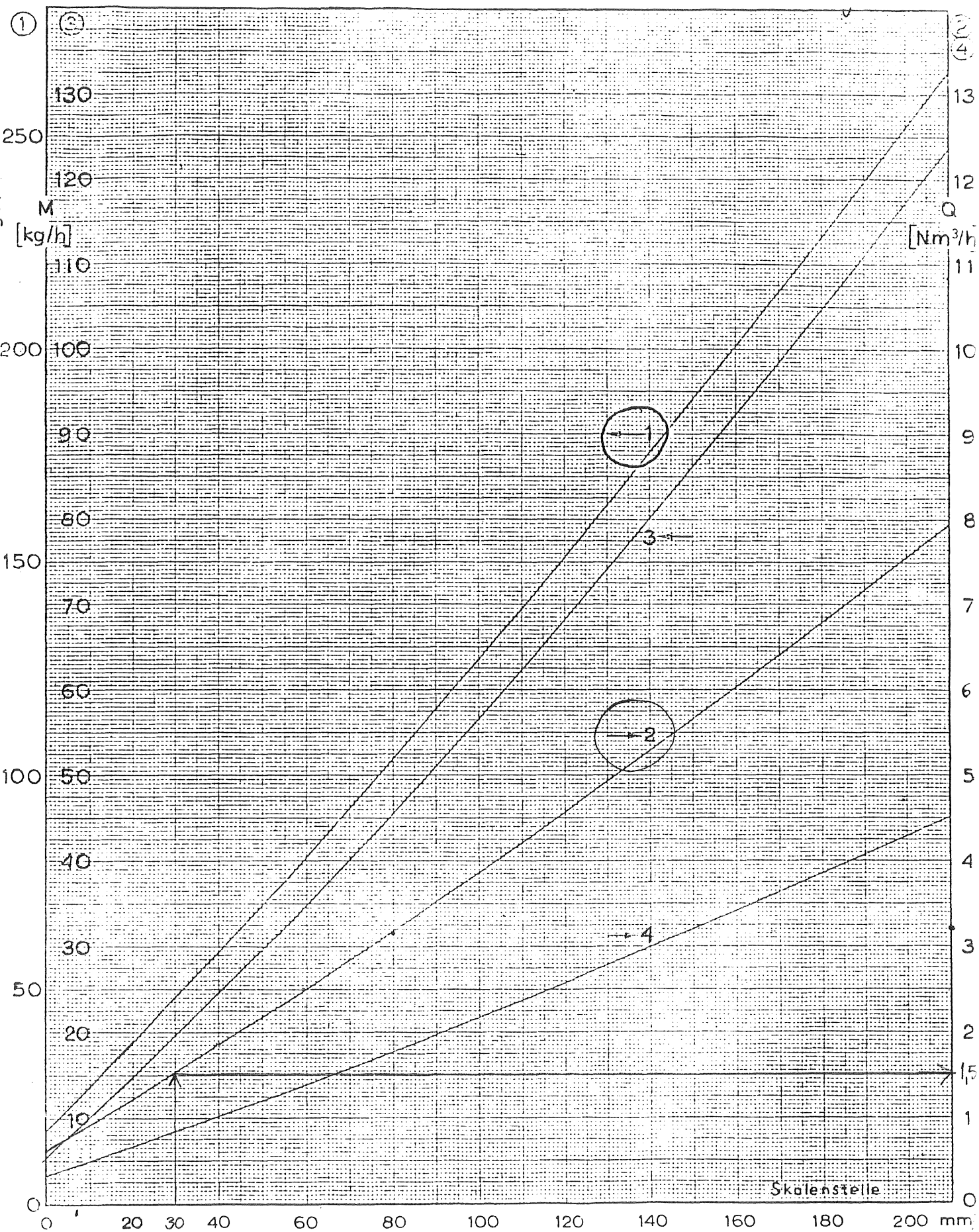
$$T = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$P = 2 \times 101.3 \text{ kPa}$$

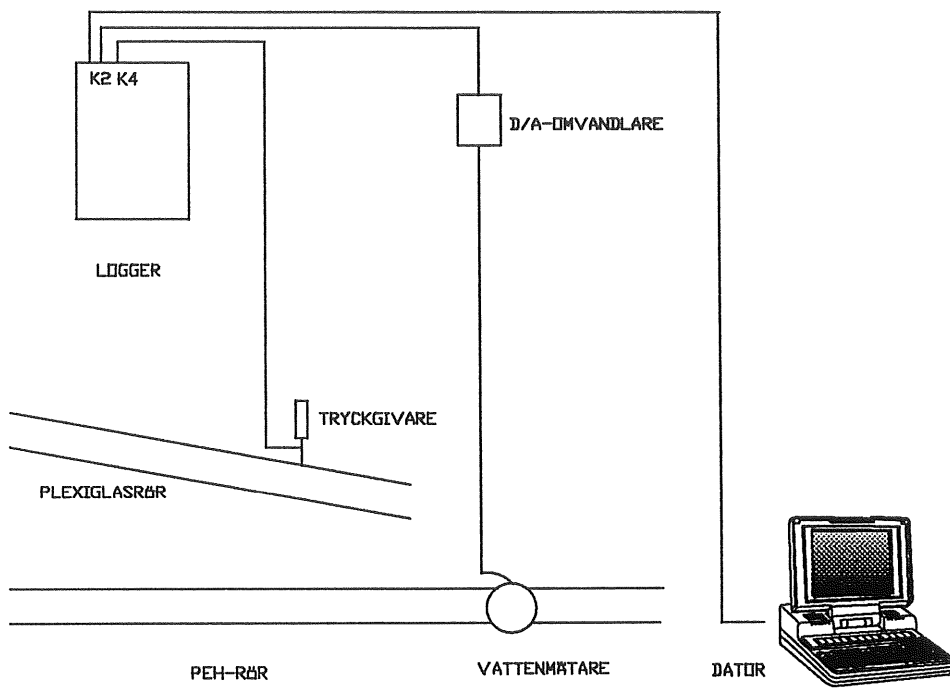
$$Q_{luft} = 1.5 \times \frac{293}{273 + 20} \times \frac{101.3 + 2 \times 101.3}{101.3} = 1.5 \times 1 \times 3 = 4.5 \text{ m}^3/\text{h}$$

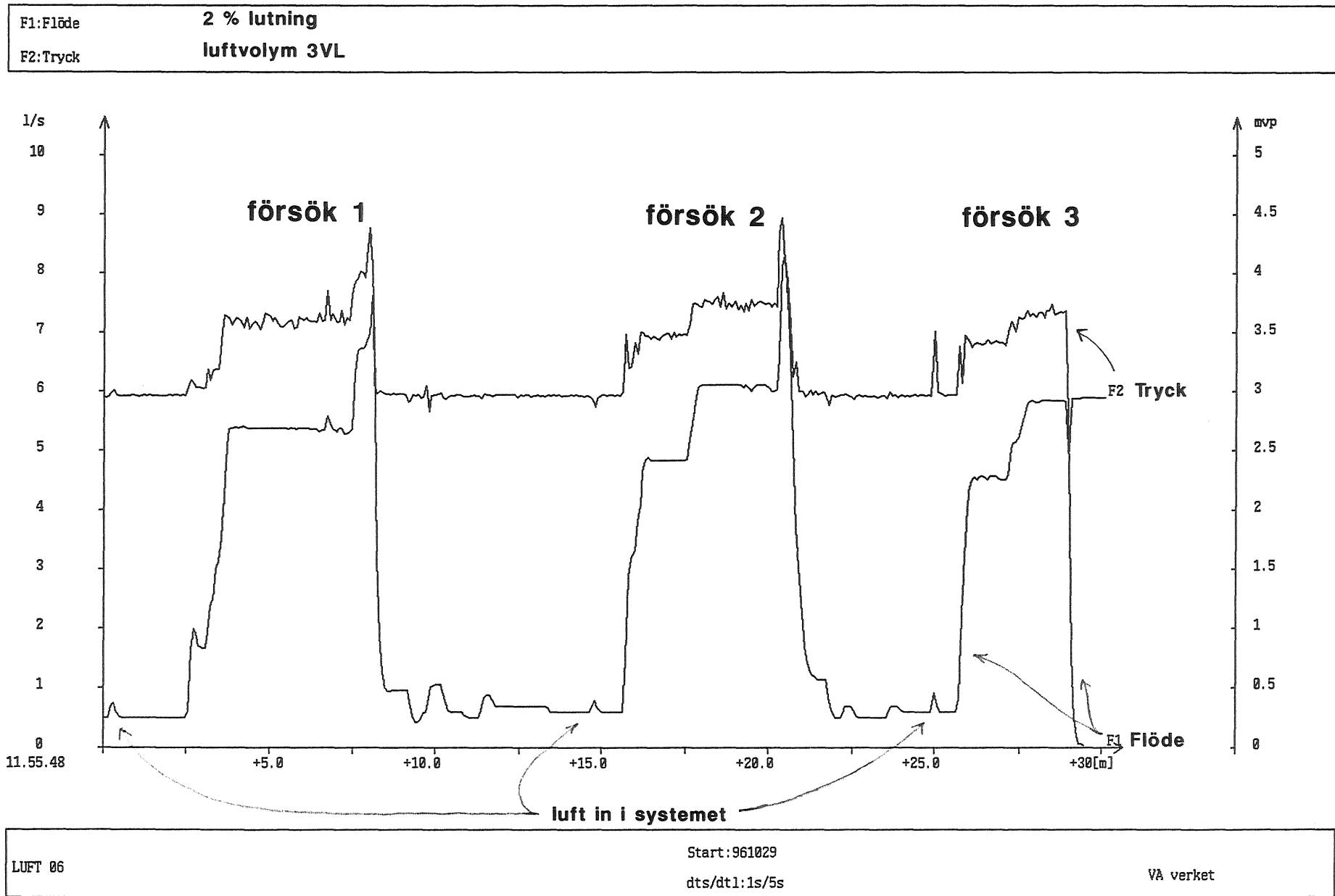
$$Q_{luft} = 4.5 \text{ m}^3/\text{h} = 1.25 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Kalibreringsdiagram för rotameter.



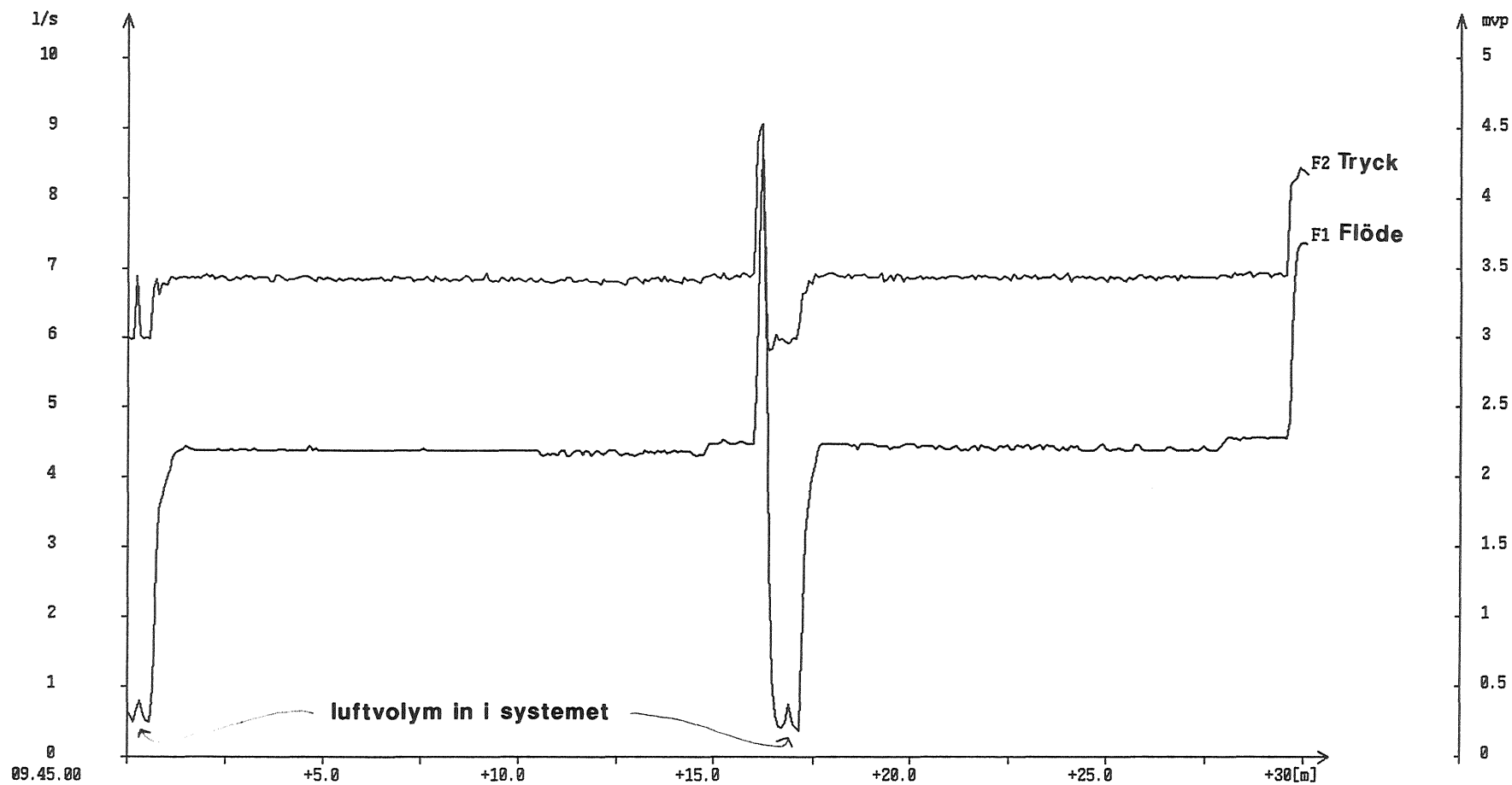
Mätutrustning





F1:Flöde
F2:Tryck

6 % lutning
luftvolym 3VL



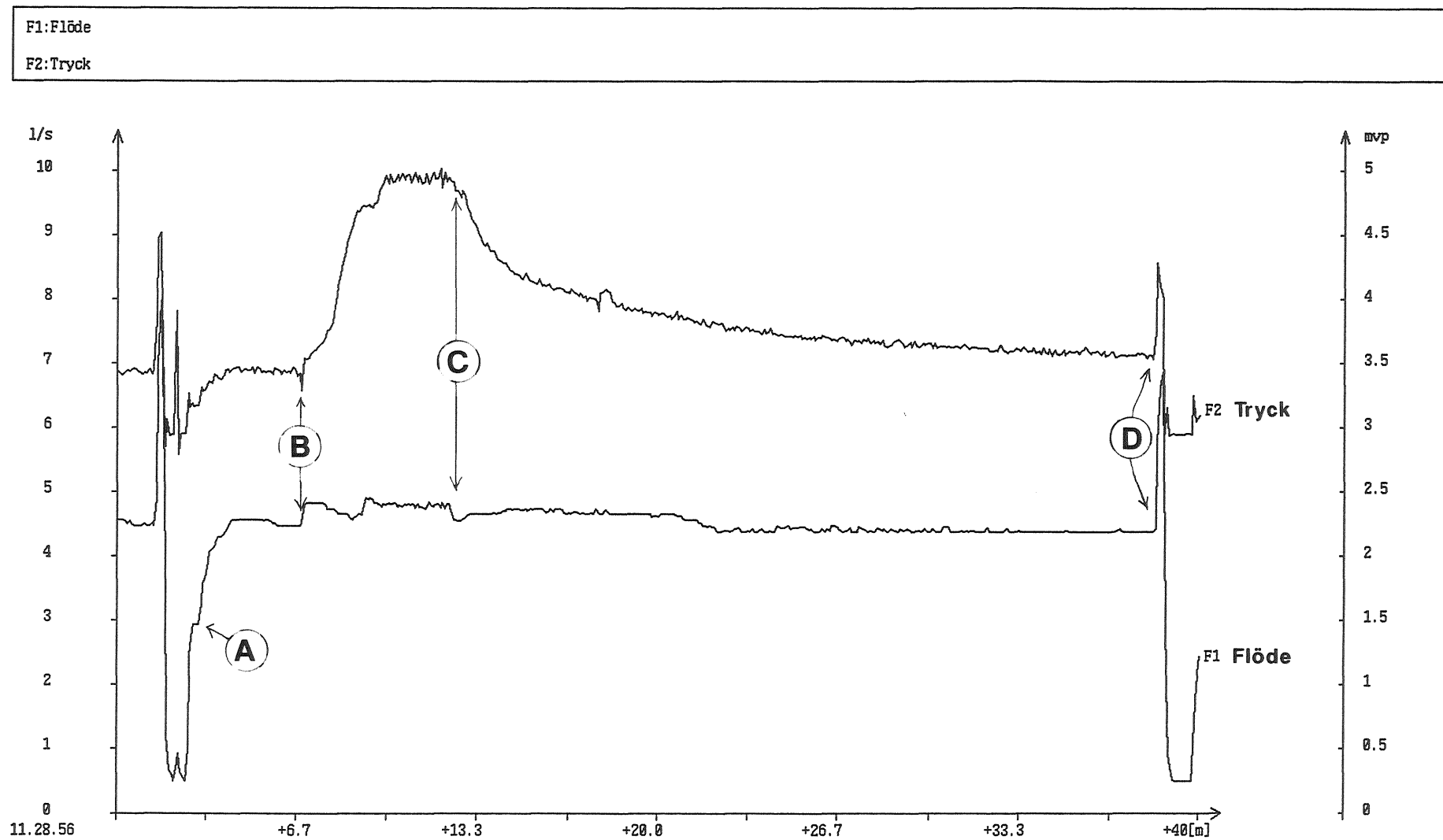
LUFT 09

Start:961113
dts/dt1:1s/5s

VÅ verket

Mätresultat från försöksserie 2

BILAGA 13:2



LUFT 12

Start: 961120

dts/dt1: 1s/5s

VÅ verket

Resultat från försöksserie 1

Flöde

Lutning [%]	q_1 [l/s] luftvolym V_L	q_1 [l/s] luftvolym $3V_L$	q_1 [l/s] luftvolym $5V_L$
2	5.01	5.38	5.25
2	4.83	4.83	4.47
2	4.74	4.56	5.25
6	4.92	5.09	5.10
6	5.24	5.01	4.83
6	5.20	4.74	5.02
15.6	5.20	5.61	5.84
15.6	5.65	5.41	5.38
15.6	5.38	5.25	-

q_1 = flöde då luftfickan flyttades från högpunkt

Hastighet

Lutning [%]	v_1 [m/s] luftvolym V_L	v_1 [m/s] luftvolym $3V_L$	v_1 [m/s] luftvolym $5V_L$
2	0.72	0.78	0.76
2	0.70	0.70	0.64
2	0.68	0.66	0.80
6	0.71	0.73	0.73
6	0.76	0.72	0.70
6	0.75	0.68	0.72
15.6	0.75	0.81	0.84
15.6	0.81	0.78	0.78
15.6	0.78	0.76	-

v_1 = hastighet då luftfickan flyttades från högpunkten

Resultat från försöksserie 2

Flöde

Lutning %	q [l/s] luftvolym V_L	q [l/s] luftvolym $3V_L$	q [l/s] luftvolym $5V_L$
2	4.38	4.38	4.38
2	4.54	4.56	4.38
2	4.30	4.56	4.55
6	4.25	4.47	4.55
6	4.55	4.47	4.55
6	4.47	4.47	4.55
15.6	4.65	5.10	5.01
15.6	4.73	4.92	5.02
15.6	4.65	4.92	5.02

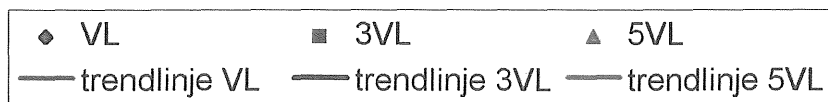
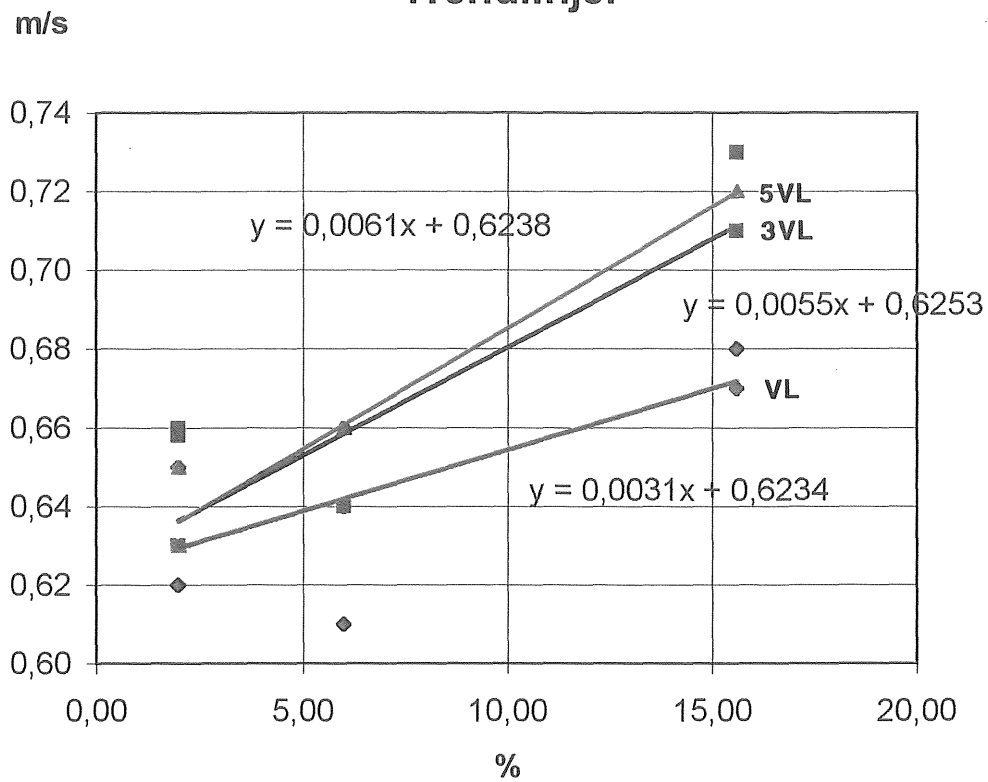
q = flöde då luftfickan flyttades från högpunkt

Hastighet

Lutning %	v [m/s] luftvolym V_L	v [m/s] luftvolym $3V_L$	v [m/s] luftvolym $5V_L$
2	0.63	0.63	0.63
2	0.65	0.66	0.63
2	0.62	0.66	0.66
6	0.61	0.64	0.66
6	0.66	0.64	0.66
6	0.64	0.64	0.66
15.6	0.67	0.73	0.72
15.6	0.68	0.71	0.72
15.6	0.67	0.71	0.72

v = hastighet då luftfickan flyttades från högpunkt

Trendlinjer



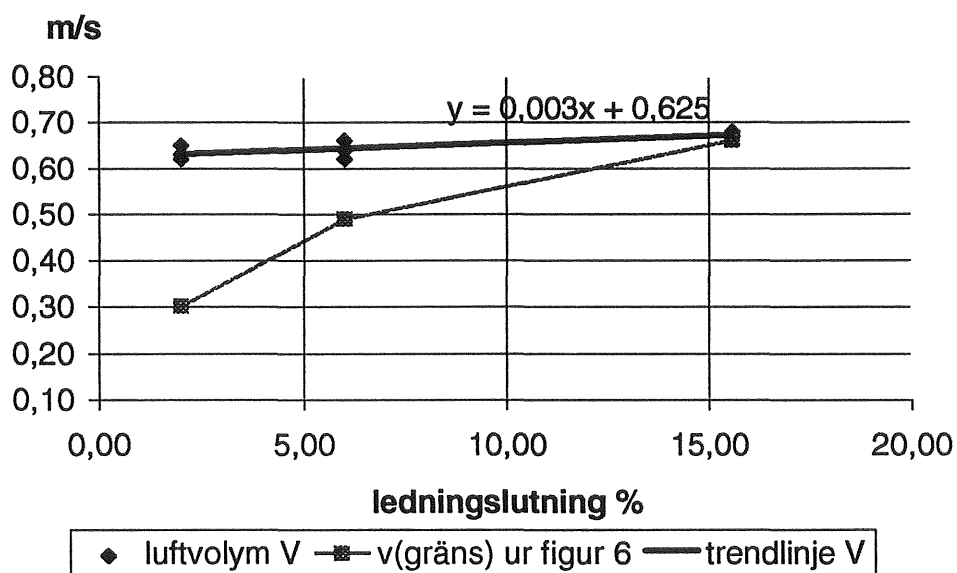
Jämförelse med tidigare experimentresultat och studier

Beräknade hastigheter

Lutning %	Kalinske & Bliss v_C , m/s	Gränshastighet för V_L ur diagram i figur 6, m/s
2	0.15	0.3
6	0.25	0.49
15,6	0.41	0.66

$$Q_C = \sqrt{(0.707 \times \tan \alpha \times 9.81 \times D^5)}.^1$$

Egna försöksresultat jämfört med gränshastighet ur figur 6.



¹ Kalinske & Bliss

