

Utvärdering av Flowmaster som verktyg för flödestekniska beräkningar

Joel Edström



UPPSALA
UNIVERSITET

Teknisk- naturvetenskaplig fakultet
UTH-enheten

Besöksadress:
Ångströmlaboratoriet
Lägerhyddsvägen 1
Hus 4, Plan 0

Postadress:
Box 536
751 21 Uppsala

Telefon:
018 – 471 30 03

Telefax:
018 – 471 30 00

Hemsida:
<http://www.teknat.uu.se/student>

Abstract

Utvärdering av Flowmaster som verktyg för flödestekniska beräkningar

An Evaluation of Flowmaster as a Tool for Thermo-Fluid Systems Simulations

Joel Edström

When plant- and fluid-systems are designed for a nuclear power plant, thermo-fluid simulations and pressure drop calculations are done to dimension the tube systems correctly. Westinghouse Electric Sweden AB is today using Microsoft Excel for these calculations where the calculations basically are done by hand.

WSE is therefore interested in evaluating commercial software for Thermo-Fluid system simulations to investigate whether new software could make the work with this kind of calculations more effective and reduce the risk for miscalculations.

The purpose of this Master Thesis is to evaluate the commercial software Flowmaster from criteria's mentioned above.

The results from this master thesis show that the reliability of the calculated results is high. The main advantages with Flowmaster are the possibility to simulate large and advanced systems, the possibility to perform various kinds of analysis on the created models and that the software is already established on the market. The main disadvantages with Flowmaster is that there is an significant learning time for new user before the software can be used efficiently and that there is no easy way to present the calculated result in form of lists which is preferred by WSE.

Handledare: Hanna Asp
Ämnesgranskare: Michael Österlund
Examinator: Elisabet Andresdottir
ISSN: 1650-8319, UPTEC STS09 033

Populärvetenskaplig beskrivning

Inom kärnkraftindustrin är en viktig del av processen att kunna hantera transporten av vatten, vattenånga och andra kemikalier i olika typer av rörsystem. Dessa rörsystem utgör förutom själva reaktorn grunden i ett kärnkraftsverk. I varje kärnkraftverk finns det miljontals med rör som är fördelade i olika system som sköter uppgifterna med att transportera vattenånga från reaktorn till turbinerna, föra tillbaka vattnet till reaktorn efter att det kondenserats samt till en stor mängd kylkedjor för att säkerställa reaktorns drift i alla tänkbara situationer. Om ändringar i konstruktionen ska utföras i ett befintligt system eller ett nytt system konstrueras måste tryckfallsberäkningar genomföras för att systemets komponenter ska kunna dimensioneras. Det är därför viktigt att ha fungerande och effektiva verktyg för att genomföra dessa beräkningar. Westinghouse Electric Sweden AB (WSE) använder sig idag av Microsoft Excel för att göra tryckfallsberäkningar. Det innebär att man i praktiken genomför manuella handberäkningar med hjälp av kalkylbladen. WSE är därför intresserade av att utvärdera kommersiella verktyg för tryckfallsberäkningar för att kunna utvärdera huruvida beräkningsmomenten kan effektiviseras samt om man minskar risken för felberäkningar ytterligare.

Den kommersiella programvaran Flowmaster har därför utvärderats utifrån grundkriterierna att resultaten från beräkningarna måste kunna verifieras samt att WSE med programvaran kan effektivisera sitt arbete med denna typ av beräkningar.

För att kunna utvärdera programvaran har simuleringar av system 712 och system 721 i genomförts i Flowmaster. För att kunna göra jämförelse med existerande program har beräkningarna för de ovanstående systemen även genomförts manuellt med Excel.

Resultaten visar att tillförlitligheten i beräkningarna är god. De främsta fördelarna är möjligheten till att begränsa användarrättigheter, modellera stora avancerade system där ett stort antal olika analyser kan genomföras samt att programvaran är etablerad på marknaden. De främsta nackdelarna är att inlärningströskeln till programvaran bedöms som hög samt den begränsade möjligheten till att enkelt redovisa resultaten i listor, vilket WSE önskar för ökad granskningsbarhet.

Innehållsförteckning

1 INLEDNING	4
1.1 BAKGRUND	4
1.2 SYFTE	5
1.3 FRÅGESTÄLLNINGAR	5
1.4 TILLVÄGAGÅNGSSÄTT	5
1.5 DISPOSITION	6
1.6 AVGRÄNSNINGAR	6
1.7 KÄLLKRITIK	6
2 BAKGRUND	7
2.1 FÖRETAGSPRESENTATION	7
2.2 OM TRYCKFALLSBERÄKNINGAR	8
2.3 KRAVSPECIFIKATIONER PÅ PROGRAMVARAN	11
3 TEORI	12
3.1 FLUIDMEKANIK	12
3.2 URSPRUNG TILL TRYCKFALL	14
3.3 TRYCKFALL HOS OLIKA KOMPONENTER	15
3.3.1 Rör	15
3.3.2 Böjar	15
3.3.3 Koner	17
3.3.4 T-stycken	19
4 KOMPONENTTESTER	21
4.1 TEST AV RÖRKOMPONENTER	21
4.2 TEST AV VENTILER	24
4.3 TEST AV ENGÅNGSMOTSTÅND	27
5. MODELLERING AV BEFINTLIGA SYSTEM	30
5.1 SYSTEM 721	30
5.1.1 Beskrivning av systemet	30
5.1.2 Modell av 721	32
5.1.2.1 Förutsättningar	32
5.1.2.2 Förenklingar	32
5.1.2.3 Indata till komponenterna	33
5.1.3 Resultat	33
5.1.3.1 Tryckfall och systemkurva	37
5.2.3.2 Konstruktionstryck	42
5.2.3.3 NPSH	43
5.3 SYSTEM 712	43
6 EVALUERING AV RESULTATEN	44
6.1 JÄMFÖRELSE AV RESULTAT FRÅN MODELLERNA MED EXCEL	44
7 BESKRIVNING PROGRAMVAROR	47
7.1 BERÄKNINGSFÖRFARANDE EXCEL	47
7.1.1 Genomförande av beräkningar	47
7.1.2 Funktioner	48
7.1.3 Presentation av resultat	48

7.2 BERÄKNINGSFÖRFARANDE FLOWMASTER	49
7.2.1 Genomförande av simuleringar	49
7.2.2 Funktioner	52
7.2.3 Presentation av resultat	54
8 ANALYS	57
8.1 TILLFÖRLITLIGHET	57
8.2 PRESENTATION AV RESULTAT, GRANSKNINGSBARHET	57
8.3 INLÄRNINGSTRÖSKEL OCH ANVÄNDARVÄNLIGHET	58
8.4 FÖRDELAR OCH NACKDELAR.....	59
8.4.1 Fördelar Flowmaster.....	59
8.4.2 Nackdelar Flowmaster.....	61
8.4.3 Fördelar Excel.....	62
8.4.4 Nackdelar Excel.....	62
9 SLUTSATSER	64
10 REFERENSLISTA	65

Bilageförteckning

Bilaga 1: Indata och resultat i tabellform för system 721

Bilaga 2: Förutsättningar och resultat från simulering av system 712

Bilaga 3: Beteckningar för berörda system

1 Inledning

Detta examensarbete är en rapport skriven som en del av civilingenjörsutbildningen "System och Teknik i Samhället" vid Uppsala Universitet. Examensarbetet omfattar 30hp. Examensarbetet är utfört på uppdrag av Westinghouse Electric Sweden AB. Målgruppen är huvudsakligen berörda personer på Westinghouse eller andra personer som har kunskaper inom flödestekniska beräkningar.

1.1 Bakgrund

Inom kärnkraftindustrin är en grundläggande del av kärnkraftsprocessen att hantera transporten av vatten, ånga och kemikalier i olika typer av rörsystem. Förutom reaktorn utgör rörsystemen grunden i ett kärnkraftsverk och används exempelvis för att transportera vattenångan från reaktorn till turbinerna, föra tillbaka vattnet till reaktorn efter att det kondenserats samt till en stor mängd olika kylkedjor för att säkerställa reaktorns drift i alla tänkbara situationer. I varje kärnkraftverk finns det miltals med rör fördelade i olika system som sköter dessa uppgifter. När ett nytt system ska konstrueras eller ändringar görs i ett befintligt måste tryckfallsberäkningar genomföras för att dimensionera systemets komponenter på ett korrekt sätt. Det är därför viktigt att en säker metod för att genomföra dessa beräkningar finns. Westinghouse Electric Sweden AB (WSE) använder sig idag av Excel där beräkningarna i praktiken genomförs manuellt med hjälp av kalkylbladen. WSE är idag intresserade av att utvärdera de kommersiella programvaror som finns tillgängliga för att undersöka om införskaffandet av en ny programvara skulle kunna effektivisera, förenkla och ytterligare minska risken för fel i de beräkningar som genomförs. I detta examensarbete kommer den kommersiella programvaran Flowmaster att utvärderas utifrån dessa kriterier. För att kunna verifiera beräkningarna kommer två system först beräknas med handberäkningarna i Excel, sedan kommer samma system att beräknas med Flowmaster.

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att utvärdera och verifiera huruvida Flowmaster fungerar som flödestekniskt beräkningsprogram för de typer av flödestekniska beräkningar som WSE genomför i sin verksamhet.

1.3 Frågeställningar

- Kan resultaten från simuleringarna i Flowmaster verifieras mot handberäkningarna med Excel-programmet?
- Kommer Flowmaster att förenkla arbetet med tryckfallsberäkningar?
- Är inlärningströskeln för Flowmaster godtagbar?
- Vilka fördelar respektive nackdelar har simuleringar i Flowmaster i jämförelse med handberäkningarna med Excel-programmet?

1.4 Tillvägagångssätt

Först genomförs en litteraturstudie om fluidmekanik och flödesberäkningar för att få förståelse för vilka krav som ett flödestekniskt beräkningsprogram bör uppfylla.

Litteraturstudien innefattar även inläsning av befintliga rapporter för tryckfallsberäkningar och systembeskrivningar för system 712, kylvattensystem för avställd reaktor och system 721, mellankylsystem för avställd reaktor som ska studeras.

Utifrån isometriritningar genomförs sedan tryckfallsberäkningar för system 712 och 721 med handberäkningar i Excel-programmet. Detta för att skapa en förståelse för hur arbetsprocessen i Excel-programmet fungerar. Efter detta ställs en kravspecifikation upp för de krav en flödesteknisk programvara bör uppfylla för att fungera i WSE:s verksamhet.

För inlärning av Flowmaster sker sedan inläsning av programmanualer samt medverkande i en kortkurs för nya användare. Detta för en god förståelse av programmiljön samt vilka analyser och funktioner som kan göras.

För att verifiera att kraven på tillförlitlighet uppfylls kommer viktiga komponenter att testas under väldefinierade villkor där samma beräkningar genomförs i Excel-programmet och i Flowmaster. Detta görs för att pröva om skillnader förekommer mellan hur resultaten beräknas i Flowmaster med hur de beräknas med Excel-programmet. Härmed kommer även att prövas om resultaten varierar beroende på om experimentella data från Idelchik [1] eller Miller [2] används.

Modeller för system 712 och 721 kommer sedan att skapas i Flowmaster. Som indata till systemens komponenter kommer samma motståndstal som för handberäkningarna i Excel-programmet anges för att jämförelsen mellan resultaten ska bli relevant. Systemens tryckfall, konstruktionstryck samt Net Positive Suction Head (NPSH) kommer sedan beräknas.

Efter simuleringarna kommer resultaten från simuleringarna i Flowmaster jämföras med handberäkningarna i Excel-programmet för att verifiera resultaten. För att jämförelsen ska bli relevant kommer flöden i kretsarna som jämförs att sättas till samma värden i Flowmaster som i Excel-beräkningarna.

Efter detta kommer en utvärdering av Flowmasters fördelar och nackdelar som beräkningsprogram att sammanställas. Resultatet av detta kommer sedan jämföras med fördelar och nackdelar för Excel-programmet.

1.5 Disposition

Rapporten innefattar totalt 9 kapitel. I kapitel 1 presenteras examensarbetets syfte samt hur arbetet ska genomföras. I kapitel 2 ges en presentation av företaget samt en bakgrundsbeskrivning till varför tryckfallsberäkningar genomförs. I det tredje kapitlet ges en kort teoretisk bakgrund till fluidmekanik samt teorin bakom uppkomsten av tryckfall i de vanligaste komponenterna. I kapitel 4 redovisas resultaten från komponenttesterna där de vanligast förekommande komponenterna beräknas i Flowmaster och i Excel-programmet. Här jämförs sedan resultaten och avvikelser för respektive komponent. I kapitel 5 ges först en beskrivning av system 721 och dess funktioner. Sedan beskrivs förutsättningarna och förenklingarna för modelleringen i Flowmaster. I kapitlet redovisas sedan resultaten från simuleringarna i Flowmaster. I kapitel 6 görs jämförelser mellan beräknade resultat i Flowmaster och Excel-programmet. Resultaten för de kompletta systemkretsarna samt utvalda komponenter jämförs i tabeller för att verifiera modellen i Flowmaster. Kapitel 7 innehåller en presentation av Flowmaster och Excel-programmet. I kapitlet kommer beräkningsmetodik samt funktioner för respektive program att beskrivas. I kapitel 8 analyseras fördelar och nackdelar med respektive programvara. Här kommer tillförlitlighet, användarvänlighet och andra aspekter att analyseras. I det sista kapitlet kommer examensarbetets slutsatser att presenteras.

1.6 Avgränsningar

I examensarbete kommer endast simuleringar med stationär strömning att genomföras. Samtliga simuleringar kommer att genomföras med inkompressibla medium.

Simuleringarna kommer att genomföras på system 712 och system 721. Beroende på avsaknad av en väl fungerande plattvärmeväxlarmodell i Flowmaster kommer vartdera systemet att simuleras separat och inte som en sammansatt kylkedja. På grund av systemets utformning kommer konstruktionstryck samt NPSH för system 712 ej beräknas i Flowmaster då dessa beror av havsvattennivån.

Vid simuleringarna har alla komponenter som anses ha liten inverkan på systemens tryckfall att exkluderats. Detta enligt gällande praxis på företaget och i enlighet med tidigare genomförda tryckfallsberäkningar med Excel-programmet.

1.7 Källkritik

En potentiell felkälla är att rapporten huvudsakligen bygger på Westinghouse egna rapporter. Att merparten av källorna kommer från samma utgivare gör att korrektheten i materialet inte kunnat kontrolleras mot någon annan källa. Det bör dock nämnas att samtliga rapporter som använts har granskade och godkända av Westinghouse själva samt av deras uppdragsgivare. Därför bedöms kvaliteten på källorna ändå som god.

2 Bakgrund

2.1 Företagspresentation

Företaget bildades 1969 som ASEA-Atom. Till en början ägdes företaget till hälften av ASEA och till hälften av svenska staten. Företaget fick sin bas i Västerås och hade under sitt första år 355 anställda. 1982 köpte ASEA upp svenska statens del av företaget och det blev helägt av ASEA. Då ASEA 1987 slagits samman med det Schweiziska företaget Brown Boveri och bildat ABB bytte företaget 1988 namn till ABB-Atom. Företaget hade fram till 1985 levererat elva stycken kokvattenreaktorer runt om i Norden [3].

ABB-Atom såldes år 2000 till British Nuclear Fuels Ltd och blev sedan inkorporerat i Westinghouse Electric Company. Företaget bytte sedermera namn till Westinghouse Electric Sweden AB (WSE). WSE är ett amerikanskt kärnkraftföretag som tidigare haft fokus på tryckvattenreaktorer. Med uppköpet av ABB-Atom fick man även kompetens inom kokarvattenreaktorer. Koncernens utvecklings- och kompetenscentra för kokarvattentekniken ligger idag i Västerås. Westinghouse finns i Sverige representerade i Västerås och i Täby. I Västerås har företaget även en fabrik för tillverkning av kärnbränsle och styrtavar till kokar- och tryckvattenreaktorer runt om i världen. Verksamheten i Täby består av företaget WesDyne TRC som är ett helägt dotterbolag till WSE. I Täby arbetar cirka 40-talet anställda med utveckling av tekniker för inspektioner och oförstörande provning. År 2006 köptes Westinghouse Electric Company upp av Toshiba-gruppen med omkring 172 000 anställda globalt [3].

Idag har Westinghouse Electric Company omkring 11 000 anställda i 15 olika länder varav drygt 900 arbetar i Sverige [3].



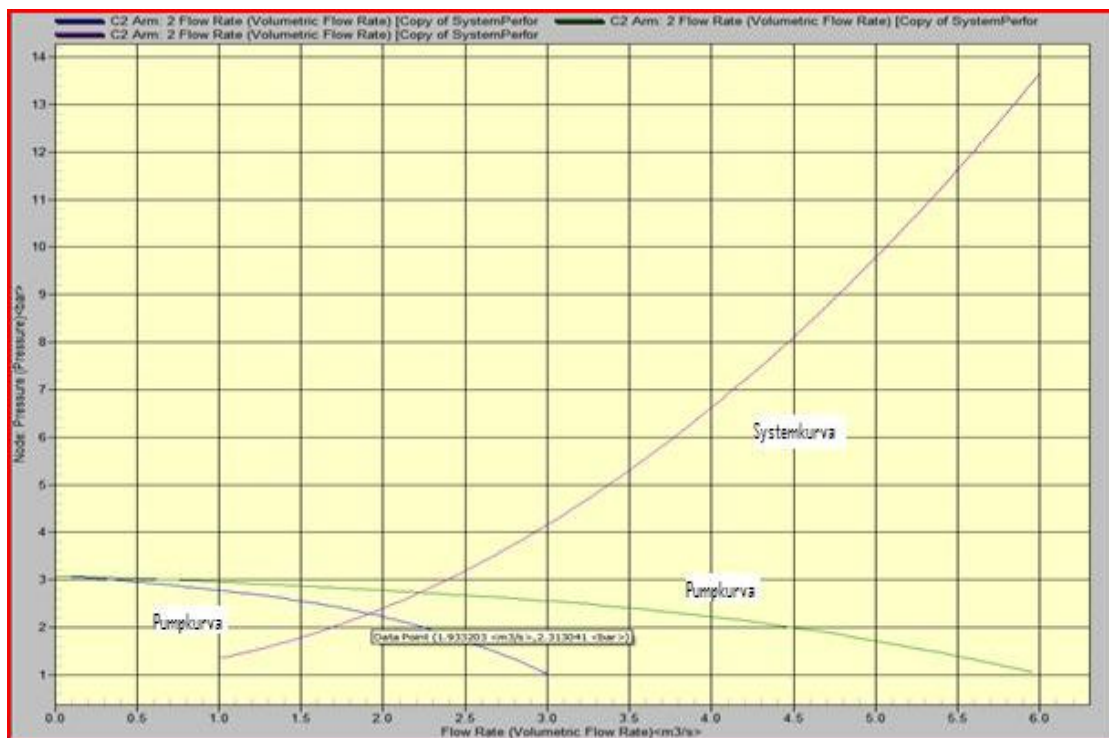
Figur 2: Figuren visar en karta över WSE:s kontor runt om i världen

2.2 Om tryckfallsberäkningar

Tryckfallsberäkningar är en mycket viktig del inom systemdesignen för kylkedjorna i ett kärnkraftverk. När ett nytt system ska konstrueras eller då ett befintligt system ska genomgå förändringar, krävs det en tryckfallsberäkning. Detta dels för att fastställa att systemspecifikationerna uppfylls och dels för att dimensionera systemets komponenter korrekt.

Systemkurvor och driftpunkter

Då en tryckfallsberäkning genomförs är det brukligt att systemkurvan för det aktuella systemet bestäms. Denna visar systemets tryckfall för olika massflöden och används tillsammans med pumpkurvan dvs. pumpens uppfodringshöjd mot volymflödet, för att ta fram systemets driftpunkt. Driftpunkten definieras av skärningspunkten mellan systemkurvan och pumpkurvan. Ur driftpunkten går det att avläsa vilket massflöde som kommer gå genom systemet för den specifika pumpen. Utifrån systemkurvan och pumpkurvan kan de förändringar av driftpunkten som uppkommer på grund av utbytta eller nya komponenter eller en utbytt pump eller pumpjul beräknas. Detta är mycket användbart för att dimensionera pumpar och komponenter och för att se vilka effekter som sker efter förändringar i systemet.



Figur 3: Figuren visar en systemkurva plottad mot två olika pumpkurvor. Driftpunkten finns i skärningspunkten mellan kurvorna [4].

Dimensionering av komponenter och pumpar

Ett viktigt användningsområde för tryckfallsberäkningar är, som tidigare nämnts, dimensioneringen av komponenter. Ett exempel på detta kan vara om en värmeväxlare ska bytas ut mot en ny. Om den befintliga värmeväxlaren exkluderas från tryckfallsberäkningen kommer systemkurvan att sjunka. Då massflödet genom värmeväxlaren är känt kan det tillgängliga utrymmet för tryckfall vid det givna flödet avläsas mellan den valda pumpkurvan och systemkurvan. Då kan även värmeväxlaren dimensioneras med avseende på maximalt tillåtet tryckfall för att uppnå det önskade flödet.

Den vanligaste situationen är dock att ett nytt system dimensionerats eller modifieringar genomförts i ett befintligt system och beräkningar sedan genomförs för att styra flödet i systemet. Genom att kontrollera driftpunkten kan beräkningar genomföras för att beräkna öppningsgraden på reglerventiler och vilken typ av strypningar som krävs för att erhålla det önskade flödet i systemet. Detta beror på att när det uppkomna tryckfallet från ventiler och strypningar förändras kommer systemkurvan att förskjutas. Detta medför även att systemets driftpunkt ändras. Om det önskade flödet ej kan uppnås genom att förskjuta systemkurvan måste en ny pump eller ett nytt pumphjul ansättas för att därigenom förskjuta pumpkurvan så att önskad driftpunkt kan uppnås.

Konstruktionstryck

En annan viktig funktion för tryckfallsberäkningarna är beräkning av konstruktionstrycket för systemet. Om det beräknade konstruktionstrycket skulle överstiga designtrycket, vilket motsvarar det maximala tryck som systemet kan utsättas för utan risk för rörbrott, måste systemet modifieras. I beräkning av konstruktionstrycket beaktas vilken händelse inom systemet som skulle leda till det maximala trycket. Exempel på en sådan händelse är att en ventil som ska vara öppen istället är stängd när pumpen arbetar mot dämnda punkten. Dämnda punkten definieras av pumpens uppfodringshöjd då flödet är noll. För att beräkna konstruktionstrycket i system 721 används följande ekvation [5]:

$$P_{max} = P_{trycktank} + P_{trycktank-rör} + \rho g \Delta h_{dämnda\ punkten}$$

Net Positive Suction Head

Net Positive Suction Head (NPSH) definieras som trycket vid pumpens sug sida. Detta tryck beräknas eftersom, om trycket på pumpens sug sida är för lågt, ökar risken för att kavitation kommer uppstå. Kavitation definieras som att trycket blir lägre än fluidens ångbildningstryck och vätskan därmed börjar koka. Om kavitation förekommer på pumpens sug sida kan detta skada pumpen eftersom det finns en risk för att gasbubblorna imploderar när trycket stiger. För att undvika att kavitation ska uppstå vill man dimensionera systemet så att tillgängligt NPSH har en marginal mot pumpens designkriterier för erforderligt NPSH. För att beräkna NPSH i system 721 används följande ekvation [5]:

$$Tillgängligt\ NPSH = P_{trycktank} - P_{ångbildning} + \Delta h_{trycktank-pump} - \Delta P_{pump-CX}$$

Risk för ångbildning

Förutom tryckfall, konstruktionstryck och NPSH är det viktigt att kontrollera hur det absoluta trycket är fördelat över systemet. Om trycket är för lågt finns det risk för ångbildning i systemet [6].

2.3 Kravspecifikationer på programvaran

För genomförandet av tryckfallsberäkningar har WSE krav på programvaran att den minst ska uppfylla följande kriterier:

- Beräkning av konstruktionstryck
- Beräkning av tryckfallet i ett system samt dess kretsar
- Beräkning av NPSH
- Goda möjligheter till grafisk presentation av resultaten
- Möjlighet till presentation av resultat och indata i form av granskningsbara listor
- Att resultaten är verifierbara

Toleranskriterier:

För att verifiera att resultaten överensstämmer har ett riktvärde på 5 % differens mellan handberäkningar i Excel och simuleringarna i Flowmaster ansatts. Detta efter en ingenjörsmässig bedömning i samråd med experter på WSE.

3 Teori

I detta kapitel kommer allmän teori kring fluidmekanik beskrivas. Det kommer även att beskrivas hur tryckfallet uppkommer från de vanligaste komponenterna i ett system.

3.1 Fluidmekanik

Fluidmekaniken är ett stort ämnesområde med tillämpningar inom många områden, t.ex. rörsystem, havsvågor och blodomloppet [7].

Inom fluidmekaniken betraktas alla ämnen som antingen fluider eller fasta. Även gaser definieras alltså som fluider. Mer precist definieras en fluid som ett ämne som när det befinner sig i vila inte kan vidhålla en statisk skjuvspänning mot sin omgivning [7].

Beräkningar inom fluidmekaniken bygger på en kompromiss mellan teori och experimentdata. Mycket data som används inom fluidmekaniken har tagits fram via experiment eftersom turbulenta flöden är mycket komplexa att bestämma exakt och det skulle krävas enorm datakraft för att genomföra helt realistiska simuleringar [2].

Definitioner inom fluidmekaniken

Ett antagande som måste göras för att kunna analysera fluidens egenskaper är kontinuumantagandet. Det innebär att fluidens egenskaper betraktas som kontinuerligt varierande funktioner av tid och läge i giltiga punkter. Denna approximation gör att fluidens egenskaper kan analyseras med differentialkalkyler [8].

Stationär strömning: Med stationär strömning menas att hastigheten är konstant i tiden i varje punkt [7].

Inkompressibel strömning: Med inkompressibel strömning menas att i varje punkt är densiteten konstant [7].

Kompressibel strömning: Densiteten är inte konstant och kan ändras vid olika förutsättningar [7].

Viskositet: Viskositeten är ett mått på hur trögflytande en fluid är. I alla newtonska fluider uppstår det hastighetsgradienter som verkar för att deformera fluiden. Dessa krafter motverkas av molekylernas bindningskraft. Densiteten definieras genom:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

Där: μ motsvarar den absoluta viskositeten. Absolut viskositet har enheten kg/m s.

Ett mer använt mått på viskositeten är kinematisk viskositet som definieras genom kvoten mellan den absoluta viskositeten och fluidens densitet. Kinematisk viskositet har enheten m²/s [2].

Turbulent och laminär strömning:

Laminära flöden karakteriseras av en skiktad strömning där flödet är stabilt och störningarna dämpas ut [9]. Flöden strömmar ofta laminärt hos fluider med hög viskositet eller då flödets hastighet är låg [2]. Laminära strömning kan beräknas både analytiskt och numeriskt [9].

Turbulenta flöden karakteriseras av snabbt varierande flöden i olika riktningar. Att beräkna exakt hur ett turbulent flöde beter sig kräver enormt mycket datakraft och de simuleringsprogram som används baserar sig experimentella värden [2].

Reynolds tal: Reynolds tal anger hur förhållandet mellan tröghetskrafter och friktionskrafter ser ut. Reynolds tal används för att definiera vilken typ av flöde som strömmar i det aktuella systemet. Generellt brukar $Re=2300$ ansättas som en kritisk gräns där flödet börjar övergå från att vara laminärt till turbulent i rörledningar. Det finns dock ett transitionsstadium mellan laminärt och turbulent flöde. Det brukar definieras för Reynolds tal mellan 2300 till 4000. Om Reynolds tal överstiger 4000 kommer flödet att definieras som turbulent [2].

Reynolds tal ges av ekvationen:

$$Re = \frac{U \cdot D}{\nu}$$

Där:

U =Medelhastigheten (m/s)

D = Den hydrauliska diametern (m)

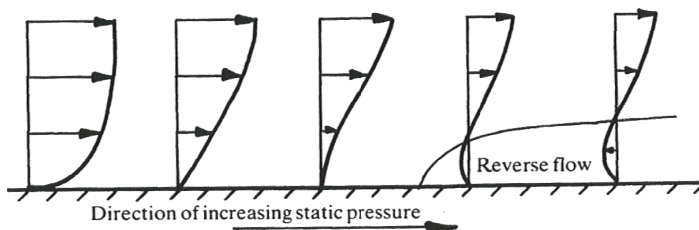
ν = Den kinetiska viskositeten (m^2/s)

Ytråhet: Ytråheten anger hur ojämnt eller skrovligt insidan på en komponents yta är. Eftersom denna är svår att mäta exakt måste den fastställas experimentellt för varje komponent. I praktiken brukar värdena på ytråheten uppskattas. Denna uppskattning baserar sig på standardvärden från tabeller och erfarenhetsbaserad bedömning för det aktuella systemet [2].

3.2 Ursprung till tryckfall

Tryckfall uppstår alltid när en fluid hindras i sitt flöde. En av de främsta orsakerna till att tryckfall uppstår är att turbulens uppkommer i flödet. Förluster på grund av turbulens är som minst när vätskan passerar genom ett slätt och rakt rör eller passage. När förutsättningarna skiljer sig från dessa kommer turbulensen och även tryckfallsförlusterna att öka. Exempel på sådana förutsättningar är böjar, koner, ventiler eller högre ytråhet i rör som genererar större förluster [2].

I de olika komponenterna i ett system finns det regioner där hastigheten ökar och regioner där hastigheten minskar. I regionerna där hastigheten ökar kommer statiskt tryck att konverteras till dynamiskt tryck. Denna transformation är stabil och kräver låg energi. I regioner där hastigheten sjunker kommer istället det dynamiska trycket att konverteras till statiskt tryck. När detta sker kommer turbulens och separation av flödet att uppstå [2].



Figur 4: Figuren visar hur flödet ändrar riktning när det statiska trycket ökar [2].

Det beräknade tryckfallet över en komponent bestäms av hastigheten, densiteten och komponentens dimensionslösa förlustkoefficient K .

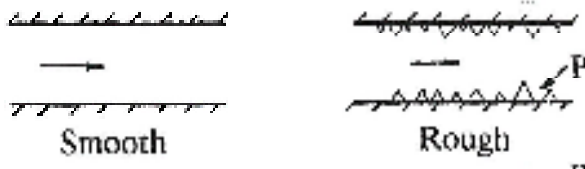
$$\Delta P = K\rho U^2/2$$

För att beräkna förlustkoefficienten måste hänsyn tas till olika faktorer beroende på vilken typ av komponent det är. I dessa beräkningar har komponenternas längd, hydrauliska diameter, ytråhet med mera betydelse för förlustkoefficientens storlek [2].

3.3 Tryckfall hos olika komponenter

3.3.1 Rör

I ett slätt rör beror förlustkoefficienten huvudsakligen på Reynolds tal. Då ytråheten är större än gränsskiktet påverkar ytråheten rörkomponentens förlustkoefficient. Den uppkomna turbulensen ökar med en ökande skrovlighet [2].



Figur 5: Figuren visar exempel på ett slätt och ett skrovligt rör

Förlustkoefficienten för en rörkomponent beräknas av följande ekvation:

$$K_f = f \cdot \frac{L}{D}$$

L = längden på röret (m)

D = den hydrauliska diametern (m)

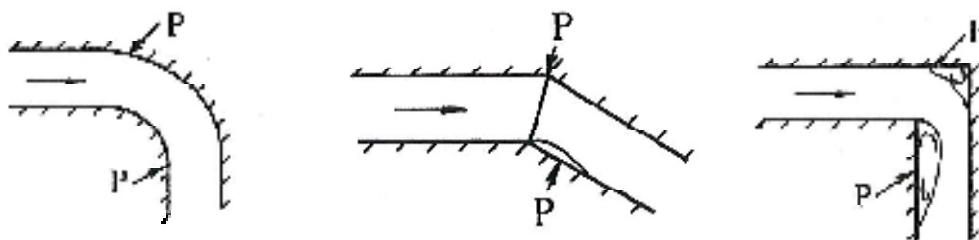
f = friktionsfaktorn som beräknas med Colebrook-Whites ekvation

I Colebrook-Whites ekvation måste hänsyn tas till ytråheten, hydrauliska diametern och Reynolds tal. För att lösa ekvationen numeriskt används en modifierad variant av ursprungsekvationen som måste lösas iterativt [2].

$$f = 0,25 / \left[\log \frac{k}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right]^2$$

3.3.2 Böjar

I en bøj beror tryckfallsförlusterna på böjens deflektionsvinkel, radie/diameter (r/d) samt rörets ytråhet. Storleken på förlustkoefficienten är i böjarna även beroende av Reynolds tal. Bidragande till tryckfallet som uppkommer från en bøj är böjens geometriska utformning. Om böjen kommer abrupt med en stor deflektionsvinkel och lågt värde på radie/diameter kommer tryckfallet att bli högre till följd av ökad turbulens och separation av flödet [2].



Figur 6: Figuren visar hur flödet och trycket fördelas beroende på böjens utformning [2].

För att beräkna förlustkoefficienten för en böj används ekvationen

$$K_{böj} = K_{böj}^* \cdot C_{Re} \cdot C_O \cdot C_f$$

där

$K_{böj}^*$ = Förlustkoefficienten för böjen utan inverkan av korrigeringskoefficienter,

C_{Re} = Korrigeringskoefficient för påverkan av Reynolds tal,

C_O = Korrigeringskoefficient för påverkan av utloppsrörets längd,

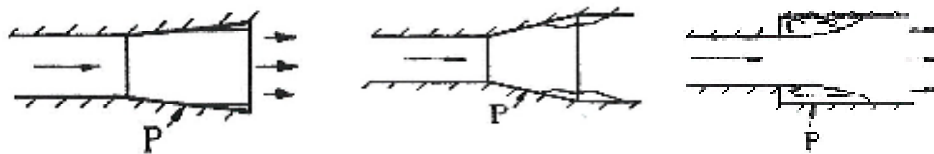
C_f = Korrigeringskoefficient för påverkan av friktionsfaktorn.

3.3.3 Koner

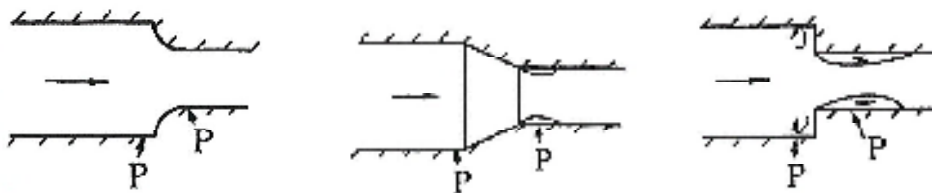
Konerna används för att låta flödet gå från en mindre rörarea till en större eller omvänt. Hur flödet fördelar sig beror till stor del på konens vinkel, skillnaden i tvärsnittsarea mellan de olika rördelarna samt hur inlopps- och utloppsförutsättningarna ser ut. En gradvis nedkoning/uppkoning kommer att ge mindre turbulens än en abrupt nedkoning/uppkoning. Skillnaderna i tvärsnittsarea mellan rördelarna påverkar flödet signifikant. Med en mindre skillnad mellan rördiametrarna desto mindre turbulens kommer att uppstå och med en större skillnad mellan rördiametrarna kommer mer turbulens att uppstå [2].

Som ovan nämnt har inlopps- och utloppsförutsättningarna stor inverkan på konens effektivitet. Om en kon är placerad nära intill en annan komponent som inte är ett rakt rör med ett stabilt flöde kan detta påverka konens effektivitet negativt eftersom inloppsflödet ofta är turbulent vilket ytterligare förstärks när flödet passerar genom konen [2].

Även utloppet från en kon påverkar konens totala effektivitet. En viktig skillnad är om det efter konen kommer ett fritt utlopp (free discharge) eller om konen fortsätter in i ett rör eller någon annan komponent. En kon som löper ut i ett fritt utlopp kommer att få högre förlustkoefficienter än en kon som löper in i en rörkomponent [2].



Figur 7: Figuren illustrerar hur flödet fördelar sig olika beroende på konens utformning vid uppkoning från en mindre rörarea till en större [2].



Figur 8: Figuren illustrerar hur flödet fördelar sig olika beroende på konens utformning vid en nedkoning från en större rörarea till en mindre [2].

För att beräkna förlustkoefficienten för en kon används ekvationen

$$K_{kon} = \frac{\Delta P}{\rho U^2 / 2}$$

Om konen har ett fritt utlopp används en korrigeringskoefficient som ges av

$$C_p = 1 - K_{kon}$$

Om konens utlopp är en rörkomponent används en korrigeringskoefficient som ges av

$$C_p = C_{pi} - K_{kon}$$

där

$$C_{pi} = 1 - 1/AR^2 \text{ och}$$

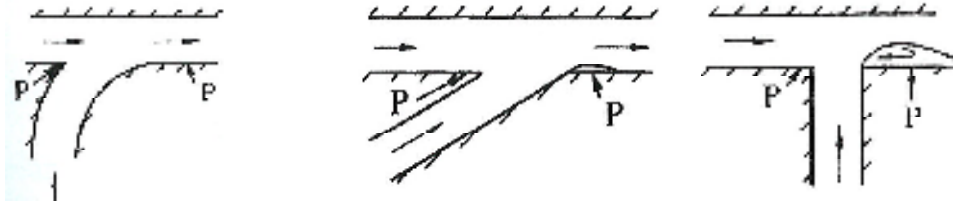
$$AR = \frac{A_2}{A_1}.$$

Experimentella data för förlustkoefficienterna för koner har en relativt stor onoggrannhet. Det kan förekomma relativt stora variationer i förlustkoefficienten för koner som har till synes samma geometriska uppbyggnad. Man bör därför ha en toleransnivå på $\pm 25\%$ på förlustkoefficienten för koner som ansluter till en rörkomponent i utloppet [2].

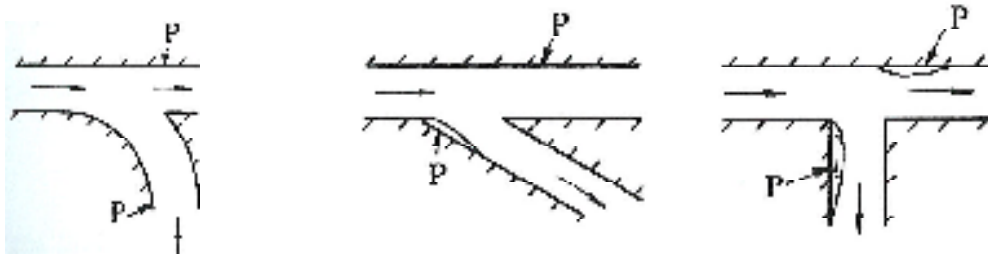
3.3.4 T-stycken

De för förlustkoefficienten påverkande geometriska faktorerna är vinkeln mellan det genomgående röret och grenröret, de olika rörens tvärsnittsareor samt radien på böjen mellan de genomgående rören och grenröret. I varje t-stycke kommer två stycken förlustkoefficienter beräknas beroende på vilket flödesriktning som avses [2].

Rekombinering av flöden är en relativt stabil process där hastigheten ökar genom t-stycket. Detta leder till ökad flödesstabilitet då flödesseparationen minskar. Uppdelning av flöden är däremot en mer instabil process där det kan förekomma flera regioner med separerat flöde [2].



Figur 9: Figuren illustrerar hur flödet fördelas i t-stycken där flödet rekombineras [2].



Figur 10: Figuren illustrerar hur flödet fördelas i t-stycken där flödet uppdelas [2].

För att beräkna förlustkoefficienten för rekombinerande flöden används följande ekvationer.

$$K_{13} = \left[\left(\frac{U_1^2}{2g} + h_1 \right) - \left(\frac{U_3^2}{2g} + h_3 \right) \right] / \frac{U_3^2}{2g}$$

$$K_{23} = \left[\left(\frac{U_2^2}{2g} + h_2 \right) - \left(\frac{U_3^2}{2g} + h_3 \right) \right] / \frac{U_3^2}{2g}$$

För att beräkna förlustkoefficienten för flöden som delas upp används följande ekvationer.

$$K_{31} = \left[\left(\frac{U_3^2}{2g} + h_3 \right) - \left(\frac{U_1^2}{2g} + h_1 \right) \right] / \frac{U_3^2}{2g}$$

$$K_{32} = \left[\left(\frac{U_3^2}{2g} + h_3 \right) - \left(\frac{U_2^2}{2g} + h_2 \right) \right] / \frac{U_3^2}{2g}$$

Beroende på t-styckets geometri behöver korrigeringskoefficienter att ansättas för att kompensera för effekterna från skillnader i areaförhållandena mellan genomgående rör och grenrör, vinkeln till det anslutande grenröret samt radien på böjen till och från det anslutande grenröret [2].

4 Komponenttester

För att verifiera att de komponenter som används i simuleringarna ger korrekta resultat kommer utvalda komponenter att testas under identiska förutsättningar i både Flowmaster och med handberäkningar i Excel. Under testerna kommer variabler som exempelvis massflöde och komponentspecifika variabler som längd eller diameter att varieras för att se hur det påverkar resultatet från beräkningarna.

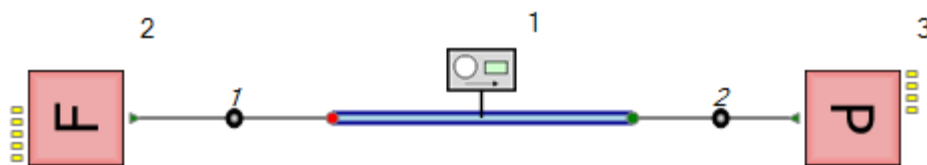
Generella förutsättningar för komponenttesterna

Material: Vatten med densiteten 1000 kg/m^3

Temperatur: 30°C

4.1 Test av rörkomponenter

Trots att varje enskilt rör inte ger upphov till ett särskilt stort tryckfall är det intressant att kontrollera om rören beräknas korrekt eftersom den totala rörlängden i många system kan bli mycket stor och inverkan av tryckfall från rörkomponenterna betydande. I detta test kommer inverkan på beräkningarna av olika värden på massflödet samt de komponentspecifika egenskaperna rörlängd och innerdiameter på rören att testas.



Figur 11: Modellen för rörkomponenter i Flowmaster.

Indata Flowmaster:

När en rörkomponent modelleras i Flowmaster måste innerdiametern, rörkomponentens längd samt den metod programmet ska använda för att beräkna friktionskoefficienten anges. De beräkningsmetoder som kan väljas är Hazen-Williams eller Colebrook-Whites metod. I detta fall har Colebrook-Whites metod använts och ytråheten är antagen till $0,10 \text{ mm}$ [4].

Indata Excel:

För att beräkna rörkomponenterna med Excel-programmet behöver rörets längd, innerdiameter samt vilken ytråhet som är antagen för röret anges. Förlustkoefficienten kommer sedan att beräknas med Colebrook-Whites ekvation. Ytråheten antas vara $0,10 \text{ mm}$ [10].

Tabell 1: Resultatet från simuleringarna i Flowmaster samt handberäkningarna med Excel-programmet då massflödet varierar.

Massflöde (kg/s)	Inner-diameter (m)	Längd (m)	Ytråhet (mm)	ΔP (Bar) Flowmaster	ΔP (Bar) Excel	Differens (%)
10	0,3073	10	0,10	0,00007	0,00007	0
25	0,3073	10	0,10	0,00039	0,00039	0
50	0,3073	10	0,10	0,00145	0,00143	1,4
75	0,3073	10	0,10	0,00315	0,00312	1
100	0,3073	10	0,10	0,00549	0,00543	1,1
125	0,3073	10	0,10	0,00846	0,00838	0,9
150	0,3073	10	0,10	0,01206	0,01195	0,9
175	0,3073	10	0,10	0,01631	0,01616	0,9
200	0,3073	10	0,10	0,02119	0,02099	0,9
225	0,3073	10	0,10	0,02670	0,02645	0,9
250	0,3073	10	0,10	0,03285	0,03255	0,9
275	0,3073	10	0,10	0,03962	0,03927	0,9
300	0,3073	10	0,10	0,04705	0,04662	0,9

Komponenttestet visar att variationen av flödet bara påverkar det uppkomna tryckfallet marginellt. Mindre avvikelser förekommer, men den största skillnaden uppkommer när flödet är 50 kg/s. Differensen är då 1,4 % vilket ligger inom toleransnivån.

Tabell 2: Resultatet från simuleringarna i Flowmaster samt handberäkningarna med Excel-programmet då rörlängden varierar.

Massflöde (kg/s)	Inner-diameter (m)	Längd (m)	Ytråhet (mm)	ΔP (Bar) Flowmaster	ΔP (Bar) Excel	Differens (%)
100	0,3073	0,5	0,10	0,00028	0,00027	3,6
100	0,3073	1	0,10	0,00055	0,00054	1,8
100	0,3073	2	0,10	0,00110	0,00109	0,9
100	0,3073	3	0,10	0,00165	0,00163	1,2
100	0,3073	4	0,10	0,00220	0,00217	1,4
100	0,3073	5	0,10	0,00274	0,00272	0,7
100	0,3073	6	0,10	0,00329	0,00326	0,9
100	0,3073	7	0,10	0,00384	0,00380	1
100	0,3073	8	0,10	0,00439	0,00434	1,1
100	0,3073	9	0,10	0,00494	0,00489	1
100	0,3073	10	0,10	0,00549	0,00543	1,1

Komponenttestet visar att variationen av rörlängden bara påverkar det uppkomna tryckfallet marginellt. Den största avvikelsen sker vid rörlängden 0,5 meter och skillnaden är 3,6 % vilket ligger inom toleransnivån.

Tabell 3: Resultatet från simuleringarna i Flowmaster samt handberäkningarna med Excel-programmet då innerdiametern varierar.

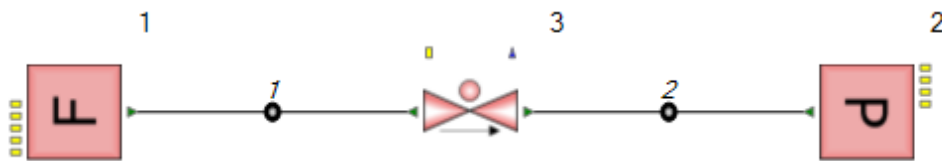
Massflöde (kg/s)	Inner- diameter (m)	Längd (m)	Ytråhet (mm)	ΔP (Bar) Flowmaster	ΔP (Bar) Excel	Differens (%)
100	0,0545	10	0,10	38,9353	38,7085	0,6
100	0,1071	10	0,10	1,1323	1,1235	0,8
100	0,1317	10	0,10	0,3858	0,3825	0,9
100	0,1593	10	0,10	0,1437	0,1424	0,9
100	0,2073	10	0,10	0,0369	0,0365	1,1
100	0,3007	10	0,10	0,0055	0,0054	1,8

Komponenttestet visar att variationen av rörets innerdiameter bara påverkar det uppkomna tryckfallet marginellt. Den största avvikelser sker vid innerdiametern 300,7 mm och skillnaden är 1,8 % vilket ligger inom toleransnivån.

Resultat: Beräkningen av rörkomponenter i Flowmaster enligt de förutsättningar som beskrivs ovan, ger beräknade tryckfall som endast uppvisar små avvikelser från de tryckfall som beräknas med Excel-programmet. Samtliga beräknade tryckfall ligger inom toleransnivån vilket tyder på att det inte förekommer några skillnader mellan hur tryckfallen för rörkomponenter beräknas i Flowmaster jämfört med handberäkningarna i Excel.

4.2 Test av ventiler

Ventiler är vanligt förekommande komponenter i de flesta rörsystem. De används bland annat för att reglera systemens flöden. Det tryckfall som uppkommer på grund av en ventil beror huvudsakligen på ventilens öppningsgrad. Om ventilen inte är helt öppen kommer den att ge upphov till ett relativt stort tryckfall och det är därför intressant att jämföra det beräknade tryckfallet från simuleringarna i Flowmaster med det beräknade tryckfallet från handberäkningarna i Excel. I detta test kommer inverkan av olika värden på massflödet samt den komponentspecifika egenskapen ”öppningsgrad” att testas.



Figur 12: Modellen i Flowmaster

Indata Flowmaster

När en reglerventil modelleras i Flowmaster måste innerdiametern anges samt en kurva där förlustkoefficienten K beroende av ventilens öppningsgrad skapas. Ventildata fås från tillverkaren. Motståndstalet anges då som ett K_v värde vilket måste räknas om till ett K -värde för att användas i Flowmaster [4]. Detta genom att använda formeln

$$K = \frac{1,57}{1000} \cdot \frac{d^4}{K_v^2}$$

I detta test har en reglerventil med innerdiametern 207,3 mm använts.

Tabell 5: Indata som använts för att skapa kurvan till reglerventilen för simuleringarna i Flowmaster.

Ventilposition (grader)	Öppningsgrad (%)	K_v	K
10	11	21	6 574,43
20	22	95	321,26
30	33	220	59,90
40	44	380	20,08
50	56	590	8,33
60	67	950	3,21
70	78	1550	1,21
80	89	2410	0,50
90	100	2840	0,36

Indata Excel

När en reglerventil modelleras i Excel-programmet kontrolleras ventilens öppningsgrad och sedan beräknas K -värdet med formeln $K = \frac{1,57}{1000} \cdot \frac{d^4}{K_v^2}$. Det beräknade K -värdet anges sedan som ett engångsmotstånd i Excel-programmet [10].

Tabell 6: Resultatet från simuleringarna i Flowmaster samt handberäkningarna med Excel-programmet då massflödet varierar.

Massflöde (kg/s)	Inner- diameter (m)	Öppningsgrad (%)	ΔP (bar) Flowmaster	ΔP (bar) Excel	Differens (%)
10	0,2073	100	0,0002	0,0002	0
25	0,2073	100	0,0010	0,0010	0
50	0,2073	100	0,0040	0,0040	0
75	0,2073	100	0,0089	0,0089	0
100	0,2073	100	0,0158	0,0159	0,7
125	0,2073	100	0,0247	0,0247	0
150	0,2073	100	0,0356	0,0356	0
175	0,2073	100	0,0485	0,0484	0,2
200	0,2073	100	0,0633	0,0632	0,2
225	0,2073	100	0,0801	0,0800	0,1
250	0,2073	100	0,0989	0,0988	0,1
275	0,2073	100	0,1197	0,1195	0,2
300	0,2073	100	0,1424	0,1422	0,1

Komponenttestet visar att variationen av flödet bara påverkar det uppkomna tryckfallet marginellt. Den största avvikelser sker vid ett flöde på 100 kg/s och skillnaden är 0,7 % vilket ligger inom toleransnivån.

Tabell 7: Resultatet från simuleringarna i Flowmaster samt handberäkningarna med Excel-programmet då ventilens öppningsgrad varierar.

Massflöde (kg/s)	Innerdiameter (m)	Öppningsgrad (%)	ΔP (bar) Flowmaster	ΔP (bar) Excel	Differens (%)
100	207,3	0	-	-	-
100	207,3	10	434,924	358,185	21,4
100	207,3	20	22,8934	19,8921	15,1
100	207,3	30	3,9408	3,8415	2,6
100	207,3	40	1,3039	1,2815	1,5
100	207,3	50	0,5665	0,5441	4,1
100	207,3	60	0,2541	0,2375	7
100	207,3	70	0,1065	0,1002	6,3
100	207,3	80	0,0435	0,0432	0,7
100	207,3	90	0,0207	0,0213	2,8
100	207,2	100	0,0158	0,0159	0,7

Komponenttestet visar att det förekommer vissa skillnader mellan de beräknade värdena från Flowmaster med handberäkningarna med Excel-programmet. De största skillnaderna återfinns när ventilens öppningsgrad är låg och den största beräknade skillnaden är 21,4 % vid en öppningsgrad på 10 %. Denna skillnad bedöms som signifikant. En trolig orsak till skillnaden i resultaten är att i indata till Flowmaster

skapades en kurva med beräknade K -värden för olika öppningsgrader. Denna kurva har sedan anpassats mot datapunkterna och inte specificerats som linjär. I handberäkningarna har linjaritet antagits när K -värden för öppningsgrader mellan de från tillverkaren specificerade punkterna beräknats. Detta styrks av att skillnaden mellan de beräknade tryckfallen är som lägst när öppningsgraden ligger nära någon av de från tillverkaren givna datapunkterna. Om kurvan i Flowmaster inte anpassat skulle skillnaderna mellan beräkningarna minska signifikant. För ökad precision bör därför fler datapunkter anges när kurvan skapas.

Resultat: Modelleringen av reglerventiler i Flowmaster enligt gällande förutsättningar ger beräknade tryckfall som har relativt små avvikelser från handberäkningarna i Excel-programmet. De avvikelser som förekommer beror troligtvis på vilken metod som används när datapunkter mellan de av tillverkaren specificerade interpoleras. En noggrann bedömning av hur kurvan ska anpassas mot givna datapunkter bör göras för att ett bra resultat ska uppnås. Testerna tyder dock på att programmen beräknar tryckfallen inom toleransnivån när indata specificeras lika.

4.3 Test av engångsmotstånd

I Flowmaster är "Discrete loss"-komponenten viktig och mycket användbar för simuleringarna. I en "Discrete loss"-komponent anges ett handberäknat engångsmotstånd som förlustkoefficient. Det gör komponenten användbar då en komponent som inte har någon specificerad modell i Flowmaster ska modelleras. Dessa komponenter är vanligt förekommande i systemen och värdet på förlustkoefficienterna varierar stort beroende på vad som ska simuleras. Det är därför intressant att kontrollera hur tryckfallet beräknas i Flowmaster jämfört med handberäkningarna med Excel-programmet.



Figur 13: Modellen för engångsmotstånden i Flowmaster.

Indata Flowmaster:

När en "Discrete loss"-komponent modelleras i Flowmaster kräver programmet att tvärsnittsarean samt värdet på förlustkoefficienten anges. Valet av förlustkoefficienten fås genom handberäkningar eller från komponentdata. I detta fall har värdet på förlustkoefficienten valts godtyckligt och till samma värde som för beräkningarna med Excel-programmet för att jämförelsen av resultaten ska bli relevant.

Indata Excel:

I handberäkningarna med Excel-programmet måste innerdiametern samt engångsmotståndet anges [10].

Tabell 8: Resultatet från simuleringarna i Flowmaster samt handberäkningarna med Excel-programmet då massflödet varierar.

Massflöde (kg/s)	Innerdiameter (m)	Tvärsnittsarea (m ²)	K	ΔP (bar) Flowmaster	ΔP (bar) Excel	Differens (%)
10	0,3073	0,0742	1	0,00009	0,00009	0
25	0,3073	0,0742	1	0,00057	0,00057	0
50	0,3073	0,0742	1	0,00229	0,00229	0
75	0,3073	0,0742	1	0,00514	0,00514	0
100	0,3073	0,0742	1	0,00912	0,00914	- 0,2
125	0,3073	0,0742	1	0,01425	0,01428	- 0,2
150	0,3073	0,0742	1	0,02052	0,02056	- 0,2
175	0,3073	0,0742	1	0,02793	0,02799	- 0,2
200	0,3073	0,0742	1	0,03647	0,03656	- 0,2
225	0,3073	0,0742	1	0,04616	0,04626	- 0,2
250	0,3073	0,0742	1	0,05698	0,05712	- 0,2
275	0,3073	0,0742	1	0,06897	0,06911	- 0,2
300	0,3073	0,0742	1	0,08208	0,08225	- 0,2

Komponenttestet visar att variationen av flödet endast påverkar skillnaden mellan de beräknade tryckfallen marginellt. Den största skillnaden är - 0,2 % och ligger inom toleransnivån.

Tabell 9: Resultatet från simuleringarna i Flowmaster samt handberäkningarna med Excel-programmet då rördimensionen varierar.

Massflöde (kg/s)	Innerdiameter (m)	Tvärsnittsarea (m ²)	K	ΔP (bar) Flowmaster	ΔP (bar) Excel	Differens (%)
100	0,0545	0,0023	1	9,2493	9,2373	0,1
100	0,1071	0,009	1	0,6199	0,6148	0,8
100	0,1317	0,0136	1	0,2715	0,2709	0,2
100	0,1593	0,0199	1	0,1268	0,1266	0,2
100	0,2073	0,0338	1	0,0440	0,0441	- 0,2
100	0,3073	0,0742	1	0,0091	0,0091	0

Komponenttestet visar att variationen av rördimensionen bara påverkar skillnaden mellan de beräknade tryckfallen marginellt. Den största skillnaden uppkommer vid innerdiameter 107,1 mm och är på 0,8 % vilket ligger inom toleransnivån.

Tabell 10: Resultatet från simuleringarna i Flowmaster samt handberäkningarna med Excel-programmet då förlustkoefficienten K varierar.

Massflöde (kg/s)	Innerdiameter (m)	Tvärsnittsarea (m ²)	K	ΔP (bar) Flowmaster	ΔP (bar) Excel	Differens (%)
100	0,3073	0,0742	0,5	0,0046	0,0046	0
100	0,3073	0,0742	1	0,0091	0,0091	0
100	0,3073	0,0742	2	0,0182	0,0183	– 0,5
100	0,3073	0,0742	3	0,0274	0,0274	0
100	0,3073	0,0742	4	0,0365	0,0366	– 0,3
100	0,3073	0,0742	5	0,0456	0,0457	– 0,2
100	0,3073	0,0742	6	0,0547	0,0548	– 0,2
100	0,3073	0,0742	7	0,0639	0,0640	– 0,2
100	0,3073	0,0742	8	0,0730	0,0731	– 0,1
100	0,3073	0,0742	9	0,0821	0,0822	– 0,1
100	0,3073	0,0742	10	0,0912	0,0914	– 0,2

Komponenttesterna visar att variationen av engångsmotståndet bara påverkar skillnaden mellan de beräknade tryckfallen marginellt. Den största skillnaden erhålls vid motståndstalet 2 och skillnaden mellan beräkningarna är 0,5 % vilket ligger inom toleransnivån.

Resultat: Modelleringen av ”Discrete loss”-komponenter i Flowmaster enligt gällande förutsättningar ger beräknade tryckfall som endast har små avvikelser från de tryckfall som beräknats med Excel-programmet. Samtliga resultat ligger inom toleransnivån.

5. Modeller av befintliga system

I detta kapitel kommer resultaten från simuleringen av system 721 att presenteras. Först kommer en beskrivning av hur systemets funktion att ges för ökad förståelse. Sedan kommer förutsättningar samt resultat från simuleringarna att presenteras. En lista med beteckningar för samtliga berörda systemnummer finns i bilaga 3.

5.1 System 721

5.1.1 Beskrivning av systemet

System 721, mellankylsystem för avställd reaktor, är ett slutet system som är uppbyggt av fyra stycken parallella subar som är uppdelade i två stycken kretsar i respektive hjälpsystembyggnad. Till varje krets finns det en dieselsäkrad pump samt en värmeväxlare som kyls av system 712, kylvattensystem för avställd reaktor. Systemet har två tryckhållningstankar som samtidigt fungerar som expansionstankar. Dessa finns anslutna högt upp i reaktorbyggnaden och är kvävgasfyllda via anslutning från system 754, tryckkvävesystem. Var och en av dessa två tankar är gemensamma för de två kretsarna som ligger i samma hjälpsystembyggnad. Tryckhållningstankarna är dock sektionerade så att de i princip fungerar som en tank för respektive krets [11].

Systemets spädmatning erhålls via en anslutning på pumpens sug sida från system 733, distributionssystem för nytt avsaltat vatten. Denna koppling finns på respektive krets [11].

Hydrazin tillsätts vattnet i systemet då detta gör att vattnet blir mindre aggressivt mot kolstål som används i huvuddelen av rören. Doseringsanläggningen förses med vatten från system 733 [11].

System 721 ingår i följande kylkedjor:

- Kondensationsbassängen kyls via kylkedjan 322-721-712
- Resteffekten och reaktortankens värme kyls via system 321-721-712 när reaktorn ställs av till kall reaktor samt när man genomför ett bränslebyte. Härvid kyls även 321 PA2 via system 721 och 712.
- Pumpmotorerna i system 322, 323 och 327 kyls, när de är i drift, via systemen 727, 721 och 712.
- Reservkraftsanläggningen kyls via kylkedjan 652-721-712.

System som kan kylas via kylkedjan 721-712, men normalt kyls av någon annan kylkedja:

- Pumpmotorerna PB1 och PD1 i system 321 som normalt är kylda via system 723-713.
- Värmeväxlarna i system 324:1 som normalt är kylda via system 723-713.
- Värmeväxlaren i system 324:2 som normalt är kyld via system 724-714.

Värmeväxlare och övriga objekt som kyls via system 721 kan isoleras från systemet via en avstängningsventil och en reglerventil. Om risk finns för att det isolerade systemet kan uppvärmas av det isolerade systemet finns det en säkerhetsventil [11].

System 721:s automatik begränsas till start av pumpar samt öppning av pneumatiska ventiler före värmeväxlarna i system 322.

Kylkedjan 322-721-712 konditionsövervakas genom flödesmätning av in- och utgående vattentemperatur över värmeväxlarna 322 EX1 och 721 EX1. Kylkapaciteten beräknas sedan kontinuerligt [11].

Systemets funktion:

Normal drift

Vid normal stationsdrift är en krets i system 322 igång för att kyla atmosfären i reaktorinneslutningens sekundärutrymme. Vid behov kommer system 721 och 712 i motsvarande krets att vara igång för att kyla kondensationsbassängen. Rumsluften i H-utrymmena kommer att kylas via system 727 [11].

Vid kylningen av sekundärutrymmets atmosfär erhålls samtidigt kylning av kondensationsbassängen. När temperaturen i kondensationsbassängen är låg kommer en larmsignal att ges via system 316. Den/de av kretsarna i system 712 som är igång ska då stängas av manuellt. När temperaturen istället är hög vid systemets temperaturvakter kommer aktuella kylkretsar att startas automatiskt. När temperaturen sedan sjunkit under 20°C ska alla kretsar utom en stängas av manuellt [11].

Systemets ventiler är inställda så att endast värmeväxlarna i system 322, 327, 652 och 727 får kylvatten [11].

Doseringen av Hydrazin till system 722, 723, 724 och det egna systemet kan ske under alla normala driftfall [11].

Avställning till kall reaktor

Vid avställning till kall reaktor ska en manuell omfördelning av kylvattnet i system 721 ske. Ventilerna VA11 och VD11 samt VA12 och VD12 öppnas och de pneumatiska ventilerna före 322 värmeväxlarna stängs så kylvattnet istället omfördelas till värmeväxlarna i system 321 och 321 PA2. Man använder alltså kylkedjan 321-721-712 för att kyla ned reaktorn. Inkopplingen av system 321 ska ske mjukt för att minska tryckökningarna i system 721 som en snabb inkoppling kan medföra. Pumparna startar i det här fallet manuellt. Kylning med kylkedja 321-721-712 startar vid temperaturen 188°C och fortgår sedan under hela avställningen [11].

Avställd kall reaktor

Vid avställd kall reaktor bortförs reaktorns resteffekt med kylkedjan 321-721-712. Funktionen är en fortsättning av avställning till kall reaktor [11].

Bränslebyte

Då ett bränslebyte ska ske efter avställning till kall reaktor bortförs reaktorns resteffekt med kylkedjan 321-721-712 till dess att reaktortanklocket lyfts av och reaktortanken är uppfylld. Värmen kommer då att bortföras av kylkedjorna 324:1-723-713 och 324:2-724-714 [11].

5.1.2 Modell av 721

5.1.2.1 Förutsättningar

Förutsättningarna för modellen i Flowmaster är definierade efter de befintliga beräkningsförutsättningar som användes vid handberäkningen med Excel-programmet. Följande förutsättningar gäller för modelleringen i Flowmaster.

- Inget flöde kommer gå över 321-kretsen utan allt flöde kommer gå över 322-, 652- och 327/717-kretsen.
- Flödet över 652-värmeväxlaren ska vara 32,5 kg/s.
- Flödet över 327/727-värmeväxlaren ska vara 5 kg/s.
- Flödet över 322-värmeväxlaren ska vara 110 kg/s.
- Flödet i kretsarna regleras huvudsakligen via reglerventilerna VC6, VC14 och VC16.
- Ytråheten i systemet är antagen till 0,10 mm

För att uppnå givna flöden ska enligt uppgift från X följande baslägeslista för systemets ventiler gälla [12].

I tabell 11 visas baslägeslistan från X

Komponent	Basläge	Anmärkningar
721 VC1	Öppen	
721 VC2	Öppen	
721 VC3	-	Backventil
721 VC4	Öppen	
721 VC5	Stängd	Öppen vid effektdrift
721 VC6	M	33 % Öppen
721 VC13	Öppen	
721 VC14	M	45 % Öppen
721 VC15	Öppen	
721 VC16	M	4,5 varv öppen

5.1.2.2 Förenklingar

I det modellerade systemet i Flowmaster har vissa förenklingar gjorts. Detta i enlighet med handberäkningarna i Excel.

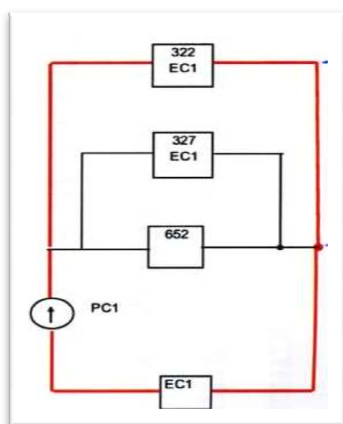
- I det modellerade systemet kommer inte det mellan A och C suben gemensamma 321-stråket att tas med i beräkningarna.
- Samtliga värmeväxlare kommer i Flowmaster att modelleras som engångsmotstånd då en modell för plattvärmeväxlare saknas i Flowmaster.
- Samtliga backventiler har modellerats som engångsmotstånd med givna motståndstal i båda flödesriktningarna.
- Samtliga ventiler har modellerats som kulventiler. Ventilernas funktion kommer dock ej att påverkas då komponenten specificeras av en kurva med motståndstal vid olika öppningsgrader.

5.1.2.3 Indata till komponenterna

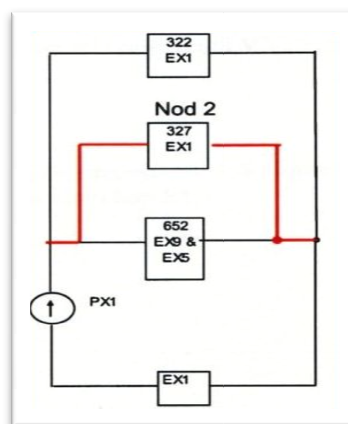
Indata till komponenterna finns angivna i bilaga 1.

5.1.3 Resultat

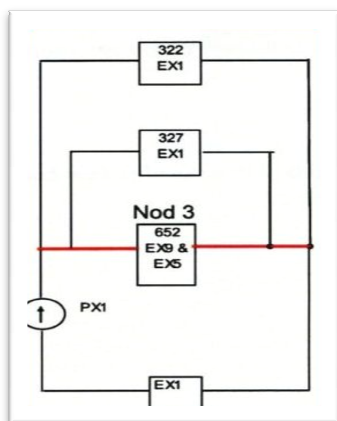
Systemet är uppdelat på tre kretsar där kretsen från pumpen och kretsen över 322-värmeväxlaren utgör huvudkretsen. Ett av skälen till att visa resultatet uppdelat på flera kretsar är att när resultaten ska visas i Flowmaster bygger mycket av redovisningen på komponenternas numrering. Eftersom system 721 har tre parallella kretsar kommer innebära det att det inte går att få någon lämplig presentation av resultaten för hela systemet baserat på komponenternas numrering. Det kommer då att uppstå hopp i resultatkurvorna som kan vara förvirrande om man inte känner till komponenternas exakta ordning. Detta har gjort att det bedömts som lämpligt att göra den valda kretsindelningen. Systemet har dock modellerats i sin helhet och det är bara presentationen av resultaten som är uppdelad i de olika kretsarna.



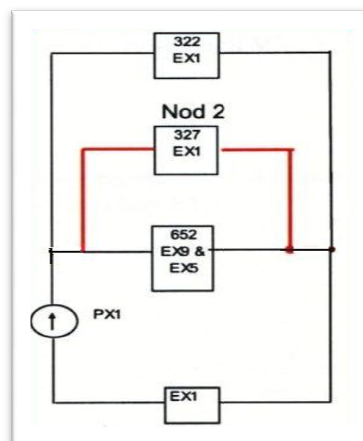
Figur 14: Huvudkretsen.



Figur 15: 327/727-kretsen.



Figur 16: 652-kretsen.

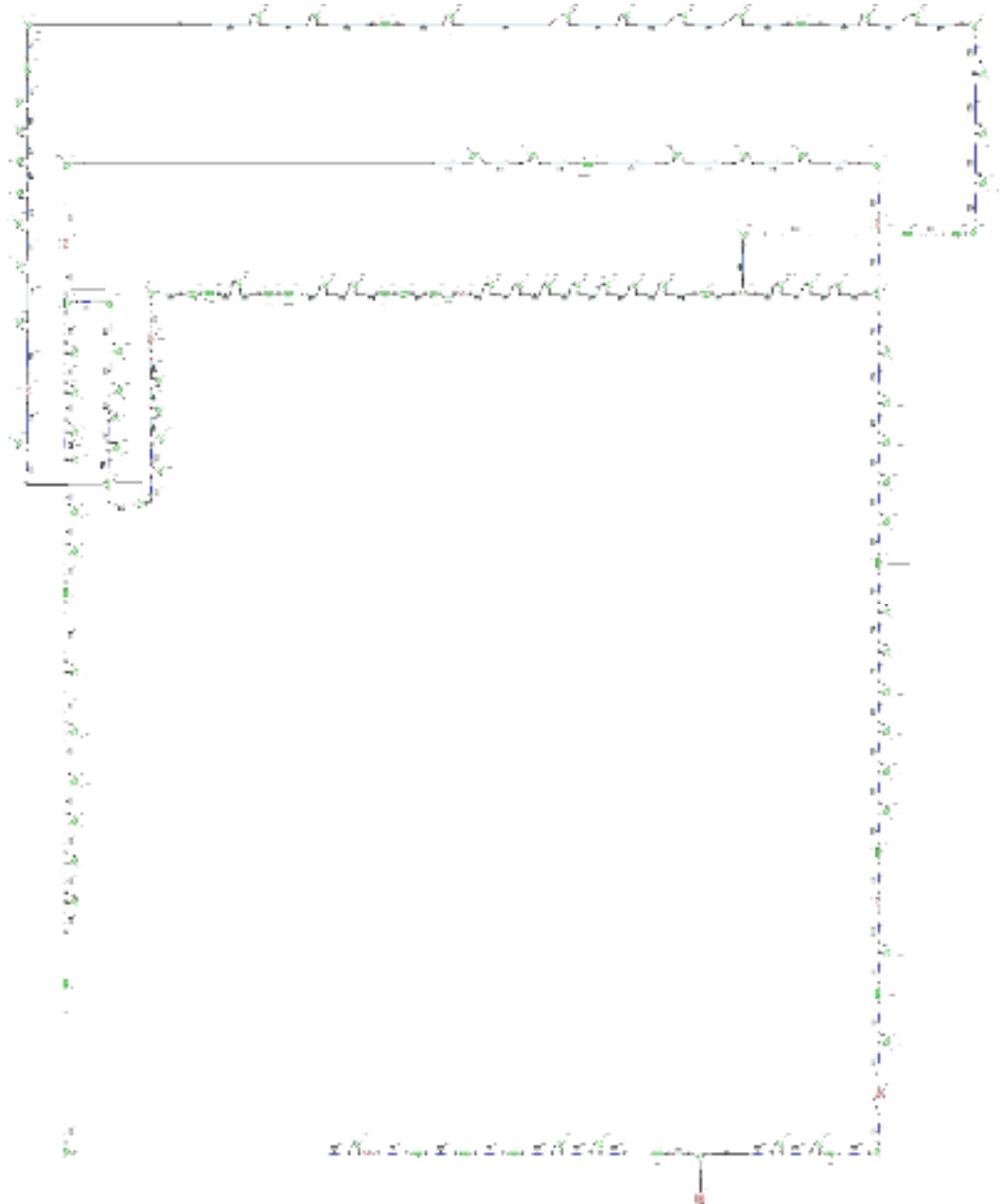


Figur 17: 327/727-kretsen (utan de gemensamma noderna).

I resultaten kommer med 327/727-kretsen menas 327/727-kretsen utan gemensamma noder.

Modellen i Flowmaster

System 721 har i Flowmaster modellerats som en hel krets. I modellen saknas 321 slingan vilken går gemensamt med sub A. Detta i enlighet med den befintliga beräkningen som gjorts med handberäkningar i Excel-programmet.



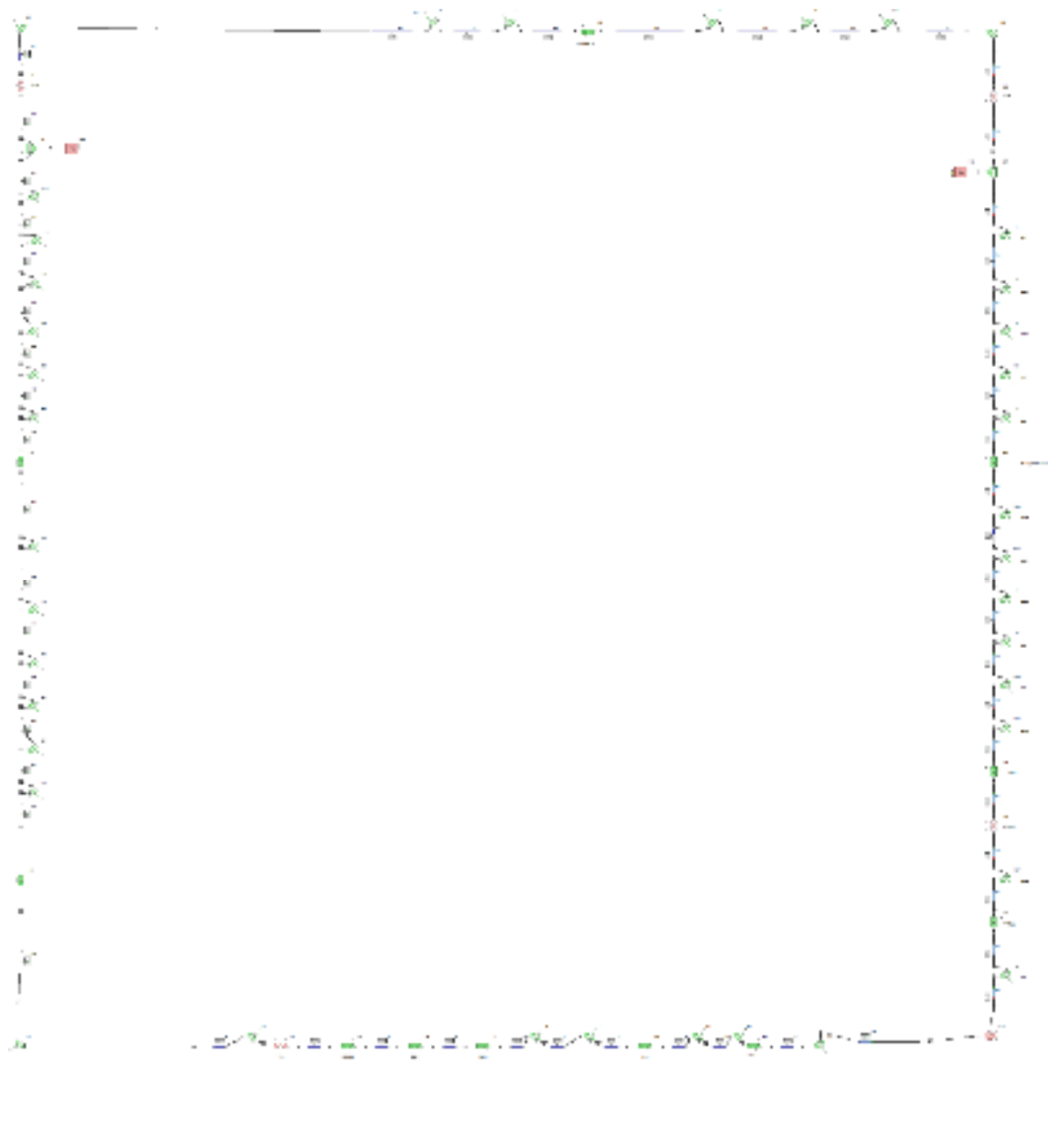
Figur 18: Figuren visar modellen av system 721 i Flowmaster.

Systemets kretsar

För att ge en bättre bild av kretsindelningen visas nedan bilderna över respektive krets.

322-kretsen

322-kretsen innefattar hela huvudslingan med start från pumpen PC1, över 322-värmeväxlaren och sedan tillbaka till pumpen.



Figur 19: Figuren visar 322 kretsen i system 721.

652-kretsen

652-kretsen innefattar kretsen som startar vid t-stycket och sedan går över 652-värmeväxlarna till t-stycket på andra sidan huvudkretsen.



Figur 20: Figuren visar 652 kretsen i system 721.

327/727-kretsen

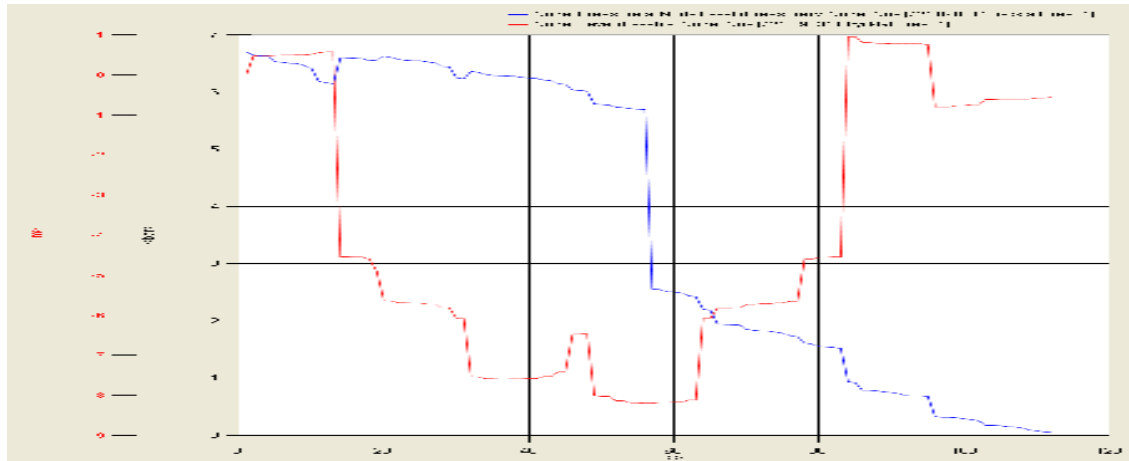
327/727-kretsen innefattar kretsen som startar vid t-stycket och går över 327- och 727-värmeväxlarna och sedan till t-stycket på andra sidan huvudkretsen.



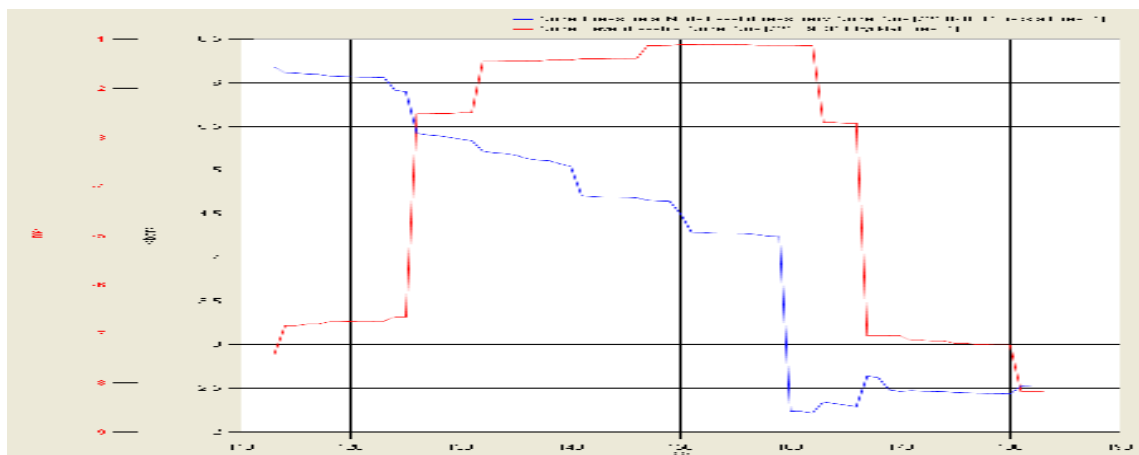
Figur 21: Figuren visar 327/727-kretsen i system 721.

5.1.3.1 Tryckfall och systemkurva Flödesfördelning och ventilinställningar

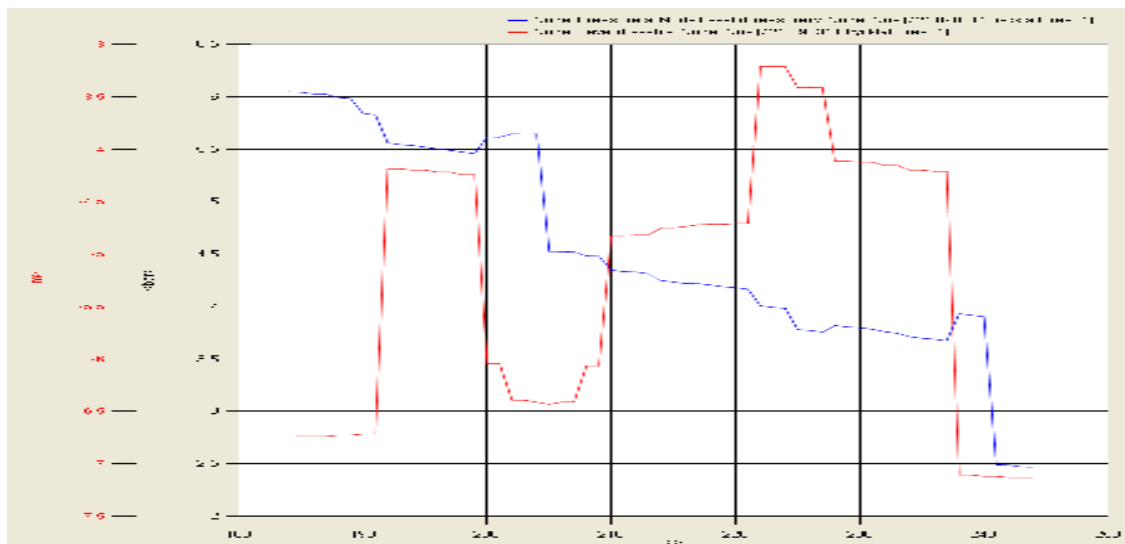
När tryckfallet beräknas kommer inte systemets anslutande trycktank tas med i beräkningen. Detta i enlighet med gällande handberäkningar med Excel-programmet. Först genomförs beräkningen med befintliga ventilinställningar erhållna från ventilläggsspecifikationen från X. I Figur 22-25 visas de resultat som erhöles för system 721 med befintliga ventilinställningar.



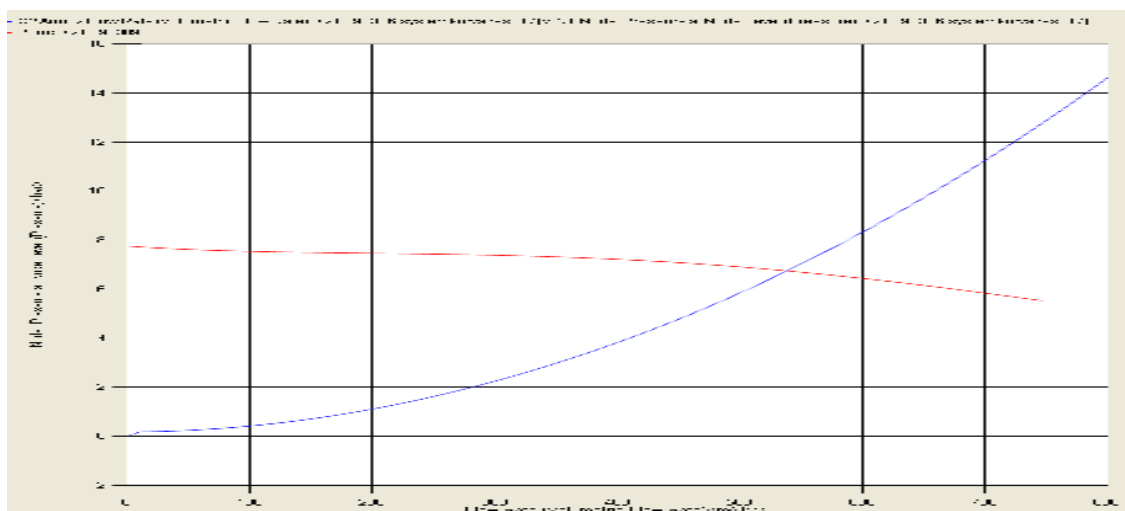
Figur 22: Grafen visar det absoluta trycket (blå) i huvudkretsen samt höjdnivån(röd). Det högsta absoluta trycket i systemet finns i nod 1 och är 6,69 bar. Det totala tryckfallet över huvudkretsen är alltså 6,69 bar.



Figur 23: Grafen visar det absoluta trycket i 652-kretsens noder (blå) samt deras höjdnivå (röd). Det totala tryckfallet i 652-kretsen är 3,67 bar.



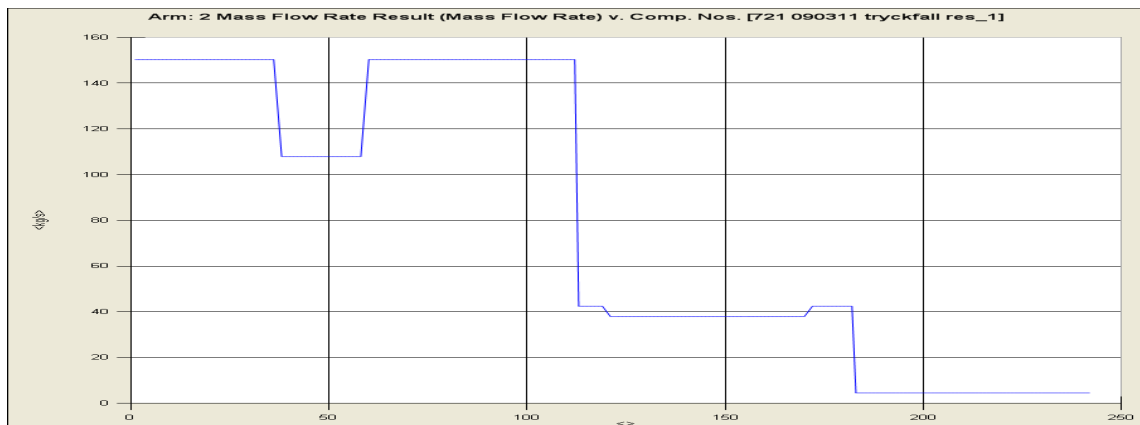
Figur 24: Grafen visar det absoluta trycket i 327/727-kretsens noder samt deras höjdnivå. Tryckfallet i 327/727-kretsen är 3,56 bar.



Figur 25: Grafen visar systemkurvan (blå) och pumpkurvan (röd). Driftpunkten ges vid 150,3 kg/s och 6,69 bar.

Sammanfattning: Beräkningarna visar att det totala tryckfallet i system blir 6,69 bar med befintliga ventilinställningar. Systemets driftpunkt ges vid flödet 150,3 kg/s. Tryckfallet och flödet i de olika parallella kretsarna kan sedan användas för att kontrollera att flödesfördelningen över noderna blir korrekt.

För att kontrollera att korrektheten i modellen med avseende på kylningen i 327/727- och 652-kretsen jämförs tryckfallet och flödesfördelning över kretsarna. För att flödesfördelningen ska följa de givna kriterierna ska tryckfallet över respektive krets vara lika vid de givna flödena. Det kommer dock att skilja något mellan 327/727-kretsen och 652-kretsen i de här presenterade resultaten från simuleringen i Flowmaster eftersom ett antal komponenter i Flowmaster-modellen är gemensamma för båda kretsarna. Det medför att presentationen av tryckfallen i graferna skulle bli missvisande eftersom de baseras på komponenternas numrering. De gemensamma kretsarna finns i graferna representerade i 652-kretsen. När simuleringen körs kommer detta inte att påverka resultatet. Om tryckfallen inte är desamma över de olika kretsarna vid de givna flödena kommer Flowmaster att iterera fram den flödesfördelning som ger samma tryckfall över kretsarna.



Figur 26: Grafen visar massflödet i kg/s över hela system 721. Det totala flödet i systemet är 150,3 kg/s. Flödet över 322-värmeväxlaren är 107,9 kg/s, flödet över 652-värmeväxlarna är 37,93 Kg/s och flödet över 327- och 727-värmeväxlaren är 4,47 kg/s.

Flödesfördelningen tyder på att motståndet är något för högt i 327/727-kretsen samt att det är något för lågt i 652-kretsen. Det totala flödet är också något högt. Detta resultat stämmer överens med tidigare beräkningar som visade att befintliga inställningar på reglerventilerna VC6, VC14 och VC16 inte kommer att ge den önskade flödesfördelningen över de olika kretsarna [5].

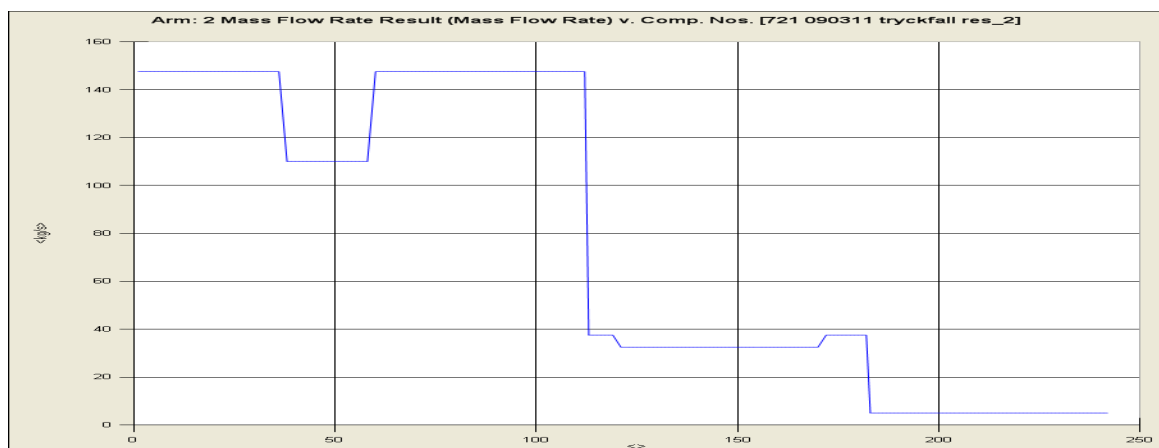
För att kunna bestämma nya positioner för ventilerna VC6, VC14 och VC16 genomförs en flödesbalanseringsanalys i Flowmaster. Det innebär att de önskade flödena anges vid de valda ventilerna så att Flowmaster sedan kan iterera fram nya inställningar på ventilerna som ger den önskade flödesfördelning över kretsarna.

Tabell 12: Gamla och nya inställningar på ventilerna

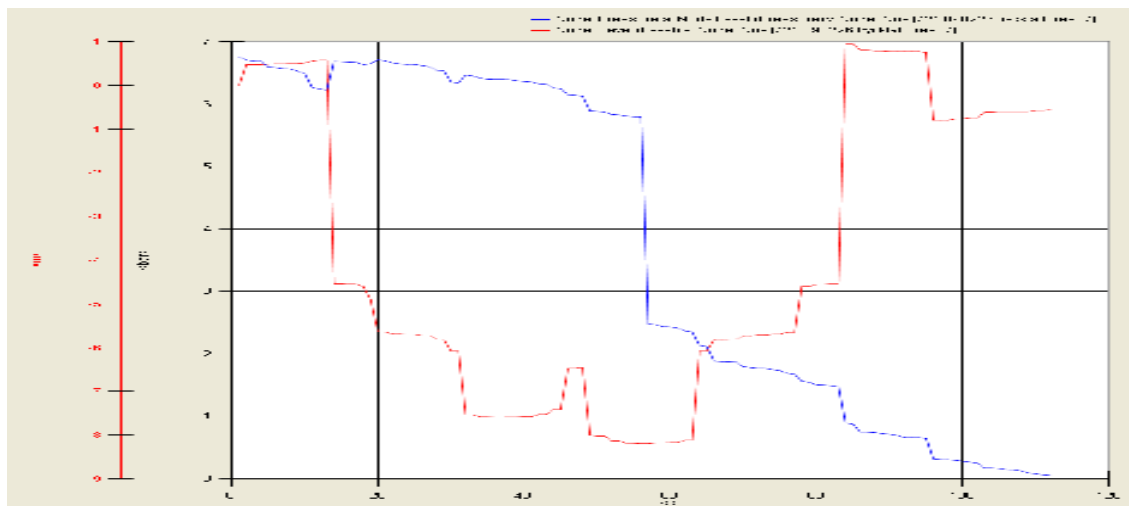
Ventil	Ursprunglig position	Ny position	Differens
VC6	33,0 %	32,8 %	– 0,2 %
VC14	45,0 %	38,6 %	– 6,4 %
VC16	55,9 %	73,0 %	17,1 %

Avvikelsen från de ursprungliga ventilvärdena är något hög för VC16, men bedöms ligga inom ramen för acceptabla avvikelser. I handberäkningen som gjordes i Excel blev avvikelsen något mindre för VC14, men större för VC16. En möjlighet till förlorad precision i modellen är att ventilkurvorna som skapats utifrån ventilspecifikationerna hade för få datapunkter vilket kan förklara en liten del av avvikelserna.

I Figur 27-28 visas resultat med nya ventilinställningar. I Figur 29 visas driftpunkterna för de gamla och nya ventilinställningarna.



Figur 27: Grafen visar massflödet i system 721 med de nya ventilinställningarna. Det totala flödet i systemet är 147,5 kg/s. Flödet över 322-värmeväxlaren är 110 kg/s, flödet över 652-värmeväxlarna är 32,5 kg/s och flödet över 327- och 727-värmeväxlarna är 5 kg/s.



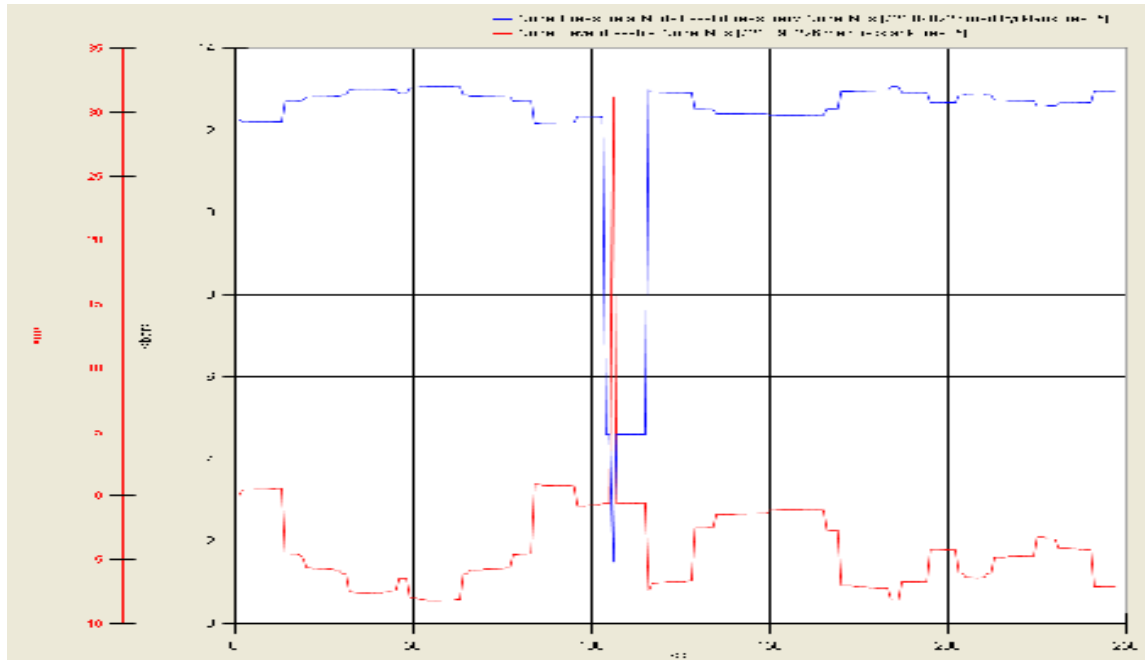
Figur 28: Resultat för huvudkretsen. Grafen visar det absoluta trycket (blå) i 322-kretsen samt höjdnivån(röd). Det högsta absoluta trycket i systemet finns i nod 1 och är 6,74 Bar.



Figur 29: Driftpunkt för systemet med nya och befintliga ventilinställningar. Grafen visar systemkurvan för huvudkretsen med de befintliga ventilinställningarna (grön) och systemkurvan för huvudkretsen med de nya ventilinställningarna (blå) plottade mot pumpkurvan. Ur grafen kan man avläsa att den driftpunkten för systemet med de nya ventilinställningarna ges vid flödet 147,5 kg/s och 6,74 bar.

5.2.3.2 Konstruktionstryck

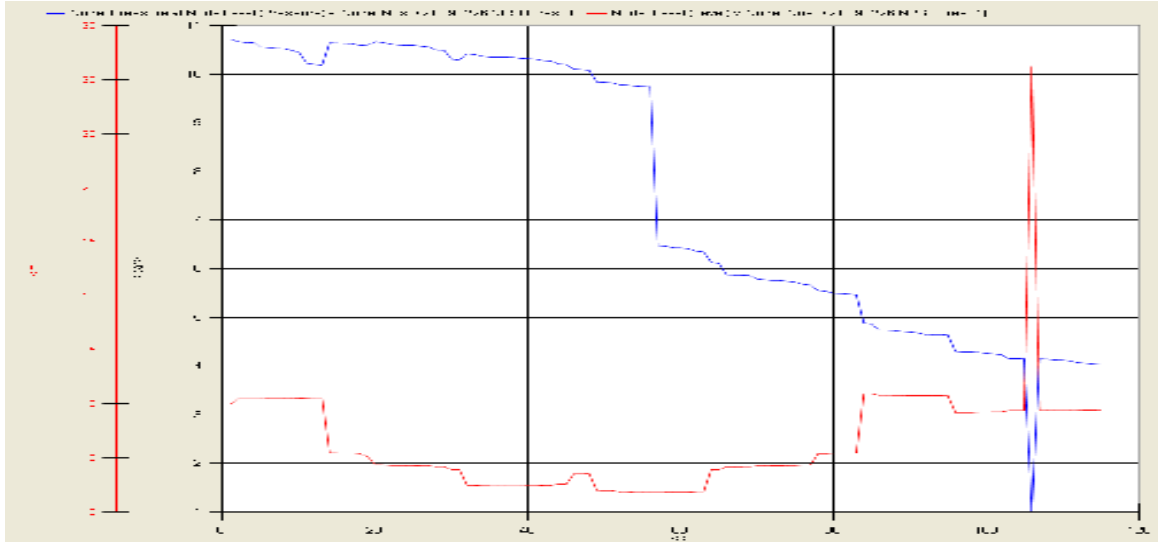
För att beräkna konstruktionstrycket med Flowmaster ansattes en trycktank med trycket 1,5 bar. Trycktanken är ansatt enligt befintliga isometriritningar via ett t-stycke och är belägen 31,2 meter över pumpens utlopp. När simuleringen genomfördes stängdes ventilen närmast innan anslutningen till trycktanken. I Figur 30 nedan redovisas resultaten av simuleringen för samtliga noder i systemet.



Figur 30: Grafen visar det absoluta trycket systemets i samtliga noder (blå) samt deras höjdnivå (röd). Ur grafen avläses att det högsta absoluta trycket är 13,07 bar vid nod nr:56 vilket även är systemets lågpunkt på en nivå 8,194 meter under referenshöjden eller 96,4 meter över havet. Systemets konstruktionstryck är alltså 13,07 bar.

5.2.3.3 NPSH

När värdet på NPSH ska beräknas ansätts ett tryck på 1 bar i trycktanken. Skälet till att trycket i trycktanken sänks från 1,5 bar är att detta förhållningssätt betraktas som konservativt och är praxis vid dessa beräkningar. NPSH kommer ges av det absoluta trycket i komponentnoden vid pumpens sug sida.



Figur 31: Grafen visar det absoluta trycket i komponentnoder samt höjdnivån.

Ur Figur 31 kan NPSH avläsas genom att se vilket absolut tryck som finns i nod nr:115 vilket är komponentnoden på pumpens sug sida. Ur grafen avläses att det absoluta trycket i komponentnoden på pumpens sug sida är 4,033 bar. För att beräkna tillgängligt NPSH måste hänsyn tas till ångbildningstrycket. Ångbildningstrycket vid 40°C är 0,0749 bar. Tillgänglig NPSH ges då av $4,033 - 0,0749 = 3,9581$ bar.

5.3 System 712

Förutsättningarna och resultaten från simuleringen av system 712 finns i bilaga 2.

6 Evaluering av resultaten

I detta kapitel jämförs resultaten från de genomförda simuleringarna i Flowmaster med resultaten från handberäkningarna med Excel-programmet från tidigare genomförda tryckfallsberäkningar. De simulerade systemen i Flowmaster är uppbyggda enligt samma isometriritningar som handberäkningarna med Excel-programmet där samma motståndstal och ventilinställningar har ansatts. Det är även intressant att jämföra resultaten från beräkningarna eftersom Flowmaster bygger på experimentella data från Miller [2] medan handberäkningarna i Excel använder experimentella data från Idelchik [1]. I simuleringen i Flowmaster kan programmet även beräkna hur tryckfallet påverkas av interaktionseffekter mellan näraliggande komponenter som kan leda till ett något lägre tryckfall i vissa fall, vilket man inte tagit med i handberäkningarna med Excel-programmet. Syftet med att göra denna jämförelse är att finna om det finns en signifikant avvikelse mellan resultaten. För att göra jämförelsen kommer resultaten för hela systemen, systemens olika kretsar samt värden från viktiga komponenter som värmeväxlare och ventiler att jämföras. Respektive krets som jämförs i tabellerna nedan har i Flowmaster modellerats med samma flöden och ventilinställningar som i beräkningarna med Excel-programmet. I system 721 används samma kretsar som i kretsindelningen i kapitel 6, förutom att även 322-kretsen som består av den del av huvudkretsen som går från t-stycket till 652- och 327/727-kretsen, över 322-värmeväxlaren och fram till t-stycket från 652- och 327/727-kretsen även beräknas.

6.1 Jämförelse av resultat från modellerna med Excel

Tabell 13: Resultaten från tryckfallsberäkningarna för systemets olika kretsar från simuleringarna i Flowmaster samt från handberäkningarna i Excel-programmet.

Systemkrets	Massflöde (kg/s) Excel	Massflöde (kg/s) Flowmaster	ΔP (bar) Flowmaster	ΔP (bar) Excel	Differens (%)
Huvudkretsen	147,5 (110)	147,5 (110)	6,72	6,87	– 2,2
652-kretsen	37,5 (32,5)	37,5 (32,5)	2,84	2,77	2,5
327/727- kretsen	37,5 (5)	37,5 (5)	4,68	4,81	– 2,7
322-kretsen	147,5 (110)	147,5 (110)	3,96	4,02	– 1,5
712	175	175	1,38	1,44	– 4,2

Resultaten från de simulerade anses stämma väl överens med de handberäknade systemen med Excel-programmet. Små avvikelser förekommer, men samtliga resultat ligger inom toleransnivån.

Tabell 14: Resultaten från tryckfallsberäkningarna för systemens olika komponenter från simuleringarna i Flowmaster samt från handberäkningarna i Excel-programmet.

Komponent	Massflöde (kg/s) Excel	ΔP (bar) Flowmaster	ΔP (bar) Excel	Differens (%)
721 VC6	110	3,26	3,31	- 1,5
721 VC14	32,5	1,47	1,41	4,2
721 VC16	5	1,76	1,78	- 1,1
721 EX1	147,5	0,49	0,49	0
322 EX1	110	0,39	0,39	0
652 EX5	32,5	0,16	0,16	0
652 EX9	32,5	0,10	0,10	0
327 EC1	5	1,39	1,40	- 0,7
727 EC10	5	0,28	0,28	0
712 EX1	175	0,67	0,68	- 1,5
712 VX4	175	0,49	0,50	- 2

Resultatet visar endast små avvikelser på vissa komponenter. Avvikelseerna anses dock vara små och ligger inom toleransnivån.

Tabell 15: Resultaten från beräkningen av de nya ventilpositionerna för reglerventilerna i system 721 från simuleringarna i Flowmaster samt från handberäkningarna i Excel-programmet.

Ventil	Ursprunglig position (%)	Ny position Flowmaster (%)	Ny position Excel (%)	Differens (%)
VC6	33,0	32,8	33	- 0,2
VC14	45,0	38,6	37,9	0,7
VC16	55,9	73,0	75	- 2

Jämförelsen mellan de itererade ventilinställningarna från simuleringarna i Flowmaster och de handberäknade ventilinställningarna från Excel-beräkningen visar små avvikelser. Den största skillnaden är hos ventil VC14 där avvikelsen är 0,7 %. En trolig orsak till denna avvikelse är att ventilkurvorna skapade i Flowmaster innehåller för få datapunkter och därför ger en mindre exakt beräkning. Resultaten ligger dock inom toleransnivån.

Tabell 16: Resultatet från beräkningen av konstruktionstrycket i system 721 från simuleringen i Flowmaster samt från handberäkningen i Excel-programmet.

System	Konstruktionstryck Flowmaster (bar)	Konstruktionstryck handberäknat (bar)	Differens (%)
721	13,07	13,10	– 0,2

Resultatet visar endast små avvikelser mellan handberäkningarna och det simulerade värdet i Flowmaster. Avvikelseerna ligger inom toleransnivån.

Tabell 17: Resultatet från beräkningen av NPSH i system 721 från simuleringen i Flowmaster samt från handberäkningen i Excel-programmet.

System	NPSH Flowmaster (bar)	NPSH handberäknat (bar)	Differens (%)
721	3,9581	3,89	– 1,8

Avvikelsen mellan det handberäknade värdet och resultatet från simuleringen i Flowmaster anses liten och ligger inom toleransnivån.

Sammanfattning:

Resultaten visar att skillnaderna mellan de simulerade systemen i Flowmaster och handberäkningarna med Excel-programmet är relativt små och samtliga resultat ligger inom toleransnivån. Både utvalda komponenter och systemet som helhet visar små avvikelser mellan de beräknade resultaten i Flowmaster och handberäkningarna med Excel-programmet och samtliga resultat ligger inom toleransnivån. Detta visar att det inte förekommer någon betydande skillnad i hur beräkningarna genomförs i Flowmaster jämfört med Excel-programmet samt skillnaderna mellan de beräknade resultaten inte verkar påverkas av att de experimentella data i Flowmaster hämtas från Miller [2] medan de för handberäkningarna i Excel-programmet hämtas från Idelchik [1].

7 Beskrivning programvaror

7.1 Beräkningsförfarande Excel

I detta kapitel ges en beskrivning av hur system beräknas med handberäkningar i Excel-programmet. Det kommer även ges en beskrivning av de viktigaste funktionerna för att förenkla beräkningarna.

7.1.1 Genomförande av beräkningar

Idag genomför WSE tryckfallsberäkningar med ett enkelt tryckfallsberäkningsprogram i Excel. Beräkningarna klassas som handberäkningar då alla engångsmotstånd beräknas för hand och det beräknade K-värdet anges i kalkylbladet. För att genomföra beräkningarna behöver rörlängder samt de engångsmotstånd som beräknats för de komponenterna anges i kalkylbladet.

Tryckfall i system 721 - Befästigt system - Sub C, 322 kretsom														
Använda komponenter i [7]														
Värde (mm)														
För biljans i RSD-LS enligt riktstandard														
Längd	Dim.	Temp.	Densitet	Viskositet	Massflöde	Hastighet	Reynold	Friction	Motstånd	Engangs-	Tryckfall	Tryckfall	Tryckfall	Commentar
L	d	T	ρ	η	$\dot{m}$	v	Re	f	K	motstånd	ΔP	ΔP	ΔP	
mm	mm	°C	kg/m ³	mPa	kg/s	m/s	-	-	-	-	Pa	mVp	bar	
Flödesförhållning i sub C														
322-kretsom														
322-kretsom														
322-kretsom														
För flöde														
100,0 kg/s														
32,5 kg/s														
5 kg/s														
147,5 kg/s														
721														
PC1	0	207,2	30	30	30	0,000 07	147,5	4,394	1,8E-04	0,0070	0,0000	0,00	0,00	
	472	207,2	30	30	30	0,000 07	147,5	4,394	1,8E-04	0,0070	0,0000	0,00	0,00	
	0	207,2	30	30	30	0,000 07	147,5	4,394	1,8E-04	0,0070	0,0000	0,00	0,00	
WC3	0	207,2	30	30	30	0,000 07	147,5	4,394	1,8E-04	0,0070	0,0000	0,00	0,00	
	0	207,2	30	30	30	0,000 07	147,5	4,394	1,8E-04	0,0070	0,0000	0,00	0,00	
	0	207,2	30	30	30	0,000 07	147,5	4,394	1,8E-04	0,0070	0,0000	0,00	0,00	
WC4	0	207,2	30	30	30	0,000 07	147,5	4,394	1,8E-04	0,0070	0,0000	0,00	0,00	
	0	207,2	30	30	30	0,000 07	147,5	4,394	1,8E-04	0,0070	0,0000	0,00	0,00	
	0	207,2	30	30	30	0,000 07	147,5	4,394	1,8E-04	0,0070	0,0000	0,00	0,00	
KC300	0	207,2	30	30	30	0,000 07	147,5	4,394	1,8E-04	0,0070	0,0000	0,00	0,00	
	0	207,2	30	30	30	0,000 07	147,5	4,394	1,8E-04	0,0070	0,0000	0,00	0,00	
	0	207,2	30	30	30	0,000 07	147,5	4,394	1,8E-04	0,0070	0,0000	0,00	0,00	

Figur 32: Figuren visar hur kalkylbladet för tryckfallsberäkningar i Excel är uppbyggt

Indata

När data ska anges till kalkylbladet måste först det aktuella flödet, temperaturen samt ytråheten för systemet anges. För att ange indata till komponenterna i systemet behövs för enkla rör bara rörets längd anges och för övriga komponenter beräknas för hand ett motståndstal som sedan anges i kalkylbladet.

Analysera resultaten

Resultaten från beräkningarna presenteras i form av listor där de olika egenskaperna listas upp. Listorna ger en bra möjlighet för att kunna se och jämföra de beräknade resultaten i varje komponent. För att kontrollera det totala tryckfallet över ett system summeras tryckfallen för samtliga komponenter i systemet.

Det finns även möjlighet till att skapa system- och pumpkurvor genom att plotta dem med hjälp av Excel. För att skapa en systemkurva summeras motståndstalet för hela systemet och tryckfallet utifrån detta motståndstal beräknas för en rad olika flöden.

7.1.2 Funktioner

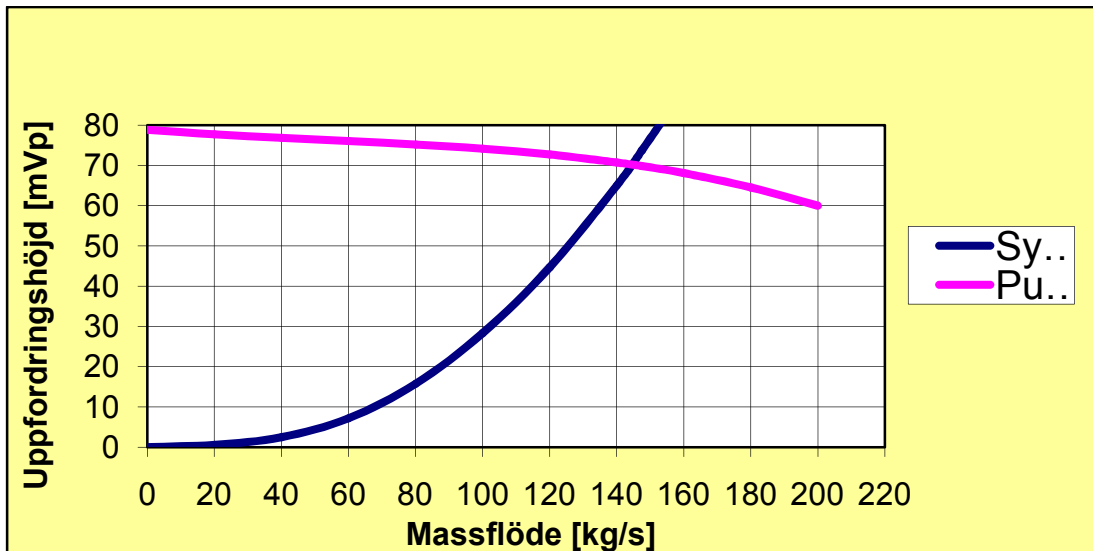
Det finns i Excel-programmet få specialfunktioner för att underlätta beräkningarna och/eller inmatningen av data. Den funktion som finns för att underlätta handberäkningarna är ett handskrivet program för att snabbt kunna beräkna motståndstalen för t-stycken, då dessa beräkningar kan vara relativt komplicerade. I denna funktion anges vilket flöde som ska gå i det genomgående röret och grenröret samt deras tvärsnittsareor. Programmet ger då motståndstalet för det specifika fallet.

Det finns även en funktion i Excel-programmet för att iterera fram vilka inställningar som olika ventiler ska ha för att balansera flöden som delar upp sig i ett system.

7.1.3 Presentation av resultat

Grafisk presentation

Det finns i Excel möjlighet att plotta grafer utifrån de datalistor som finns i tryckfallsberäkningen. Detta gör det möjligt att plotta system och pumpkurvor för att kunna beräkna systemets driftpunkt (Figur 33).



Figur 33: Figuren illustrerar en systemkurva och pumpkurva plottad i Excel [5].

Listor

När tryckfallsberäkningar genomförs i Excel byggs beräkningarna upp med listor över respektive komponent i systemet. När indata har skapats till alla komponenter kommer även resultat kunna läsas av i samma lista. Denna lista innehåller alla de egenskaper som är relevanta vid en presentation av resultatet från en tryckfallsberäkning (Figur 34).

Tryckfall 1 - system 7.1 - Beräknat system - Sub C, Rod 1														
Använda formel redovisas i [7]														
Värket (mm)														
0,10														
För blöjorna är IMD-LS enligt rörstandard.														
Längd L m	Diam. d mm	Temp. t °C	Densitet ρ kg/m ³	Viskositet η mPa	Massflöde w kg/s	Hastighet v m/s	Frict.koeff. f	Motståndskoefficient	Englängsmotstånd z	Tryckfall Δp Pa	Tryckfall Δp mVp	Tryckfall Δp bar		
T-böj nr 652- och 327-ghöring	0	207,3 °	30	995	8,00E-07	110,0	3,277	8,5E-05	0,0172	0,0000	0,05	249	0,03	0,00
VCS	930	207,3 °	30	995	8,00E-07	110,0	3,277	8,5E-05	0,0172	0,0020	0,00	430	0,04	0,00
	0	207,3 °	30	995	8,00E-07	110,0	3,277	8,5E-05	0,0172	0,0000	0,36	1919	0,20	0,02
	2090	207,3 °	30	995	8,00E-07	110,0	3,277	8,5E-05	0,0172	0,0077	0,00	495	0,09	0,01
	0	207,3 °	30	995	8,00E-07	110,0	3,277	8,5E-05	0,0172	0,0000	0,21	1119	0,11	0,01
	5050	207,3 °	30	995	8,00E-07	110,0	3,277	8,5E-05	0,0172	0,0000	0,21	1119	0,11	0,01
322 EC1	0	207,3 °	30	995	8,00E-07	110,0	3,277	8,5E-05	0,0172	0,0000	0,21	1119	0,11	0,01
	10900	207,3 °	30	995	8,00E-07	110,0	3,277	8,5E-05	0,0172	0,0000	0,21	1119	0,11	0,01
	0	207,3 °	30	995	8,00E-07	110,0	3,277	8,5E-05	0,0172	0,0000	0,21	1119	0,11	0,01
	344	207,3 °	30	995	8,00E-07	110,0	3,277	8,5E-05	0,0172	0,0077	0,00	495	0,09	0,01
	2350	207,3 °	30	995	8,00E-07	110,0	3,277	8,5E-05	0,0172	0,0000	0,21	1119	0,11	0,01
VC6	0	207,3 °	30	995	8,00E-07	110,0	3,277	8,5E-05	0,0172	0,0000	7,30	39966	3,99	0,39
	2350	207,3 °	30	995	8,00E-07	110,0	3,277	8,5E-05	0,0172	0,0000	0,21	1119	0,11	0,01
	0	207,3 °	30	995	8,00E-07	110,0	3,277	8,5E-05	0,0172	0,0000	0,21	1119	0,11	0,01
	10900	207,3 °	30	995	8,00E-07	110,0	3,277	8,5E-05	0,0172	0,0000	0,21	1119	0,11	0,01
	0	207,3 °	30	995	8,00E-07	110,0	3,277	8,5E-05	0,0172	0,0000	0,21	1119	0,11	0,01
T-böj nr 327- och 652-ghöring	0	207,3 °	30	995	8,00E-07	110,0	3,277	8,5E-05	0,0172	0,0000	0,59	2963	0,32	0,03
	1300	207,3 °	30	995	8,00E-07	110,0	3,277	8,5E-05	0,0172	0,0077	0,00	575	0,06	0,01
	0	207,3 °	30	995	8,00E-07	110,0	3,277	8,5E-05	0,0172	0,0000	0,21	1119	0,11	0,01
	1639	207,3 °	30	995	8,00E-07	110,0	3,277	8,5E-05	0,0172	0,0000	0,21	1119	0,11	0,01
	0	207,3 °	30	995	8,00E-07	110,0	3,277	8,5E-05	0,0172	0,0000	0,21	1119	0,11	0,01
Summa:	43593									71,76				
Summa:										482528	41,26			

Figur 34: Figuren illustrerar hur resultaten från en tryckfallsberäkning presenteras som en lista i Excel [5].

7.2 Beräkningsförfarande Flowmaster

I detta kapitel ska en beskrivning ges av hur system byggs upp samt hur simuleringar genomförs i Flowmaster. Det kommer även ges en beskrivning av de viktigaste funktionerna som kan användas under simuleringarna.

7.2.1 Genomförande av simuleringar

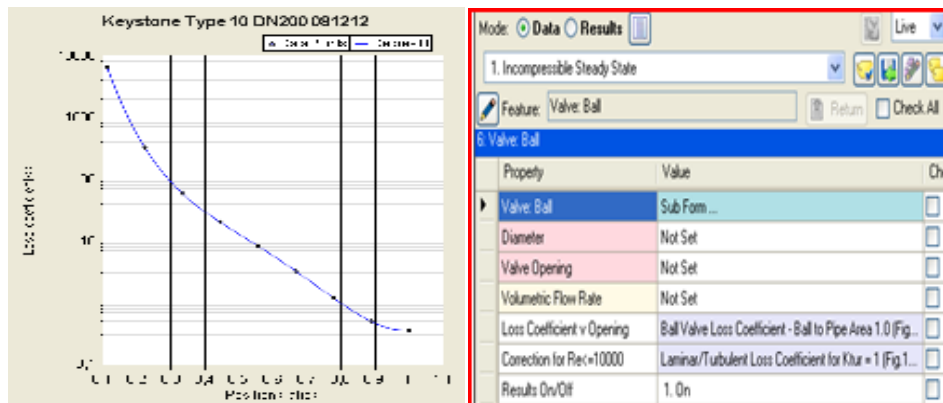
Skapa modellen

Flowmaster är ett grafiskt uppbyggt 1D-simuleringsprogram för flödestekniska beräkningar. För att göra simuleringar byggs ett nätverk av komponenter upp som motsvarar det system som ska simuleras. I Flowmaster finns ett stort antal komponenter i ett komponentbibliotek. För att skapa modellen i Flowmaster markeras komponenten i biblioteket och dras sedan in till nätverksfönstret. Samma funktion kan även uppnås genom att kopiera och klistra in valda komponenter. När alla komponenter är inlagda i systemet bör de numreras i lämplig ordning. Detta moment är viktigt eftersom när Flowmaster presenterar resultaten baseras data på komponenternas nummer. När detta sedan är gjort kopplar man ihop komponenterna. Mellan varje komponentpar kommer det då skapas en nod som får ett specifikt nummer. I Flowmaster används noderna för att ange höjdnivåer i systemet samt för att presentera systemets tryck.

Indata

I Flowmaster kan många egenskaper specificeras för varje komponent. För att underlätta inmatningen av data används färgkoder för att visa vilka alternativ som är obligatoriska eller inte. Färgkoderna är beroende av vilken typ av analys programmet ska genomföra eftersom olika analystyper kräver att olika egenskaper anges.

Många av komponenterna i Flowmaster kräver att indata anges i form av en definierad kurva eller yta. Komponenterna har fördefinierade kurvor och ytor, men för precision i resultaten måste kurvorna specificeras från tillverkarnas specifikationer.



Figur 35: Den vänstra figuren visar en ventilkurva skapad efter tillverkarens specifikation och den högra figuren hur indatafältet kan se ut för en enkel ventil.

Inför varje simulering som genomförs måste initialvillkor anges. I initialvillkoren anges systemets temperatur, det atmosfäriska trycket, värdet på tyngdaccelerationen g samt vilken vätska eller gas man vill använda i simuleringen. Det finns även möjlighet att ange höjdnivån för systemet i initialvillkoren.

Analystyper

I Flowmaster finns det möjligheter till att göra ett stort antal olika analyser. Programmet kan hantera analyser med kompressibla och icke-kompressibla medium. När simuleringen körs kan analyser för stationära flöden, transientanalyser eller värmeöverföringsanalyser genomföras [4].

Analysera resultaten

Efter en simulering i Flowmaster kommer programmet först att ange om den aktuella simuleringen fungerade eller om inte. Programmet kommer att generera en felrapport om det exempelvis skulle saknas indata till någon eller några av komponenterna.

Det finns en rad alternativ för att kontrollera resultaten från simuleringarna. Resultaten kan presenteras grafiskt, med listor samt med hjälp av automatgenererade rapporter. Kurvor och grafer kan användas för de flesta av systemets egenskaper där de antingen plottas mot komponenternas nummer eller mot andra specifika egenskaper. När resultaten presenteras med listor kommer den valda egenskapen att listas mot den valda komponentens nummer. En annan möjlighet för att snabbt kunna ta ut resultat eller indata från simuleringen är att använda automatgenererade rapporter där all data från den aktuella simuleringen listas upp.

Resultaten från varje genomförd simulering finns sparade tills de aktivt tas bort. Detta underlättar möjligheten till att jämföra resultaten mellan olika simuleringar när ändringar gjorts i modellen. För att kunna spåra ändringar i indata är det möjligt att skapa tabeller som visar skillnaderna vid olika simuleringar.

7.2.2 Funktioner

Standardfunktioner i Flowmaster

Det finns ett antal standardfunktioner i Flowmaster för att kunna ersätta komponenter i nätverk, modifiera material för simuleringar, modifiera utseendet på komponenternas symboler med mera. Nedan kommer de viktigaste av standardfunktionerna att beskrivas kortfattat.

Kataloger

Flowmaster använder huvudsakligen kataloger (mappar) för att sortera nätverk, komponenter, material, osv. Användaren har i programmet full frihet att skapa egna kataloger som sedan kan modifieras enligt eget tycke. Den enda begränsningen som finns är att standardkatalogerna som levereras med programvaran inte kan skrivas över. Det är därför fullt möjligt att skapa företagsspecifika bibliotek för att kunna effektivisera sina beräkningar.

Modifiering av material

I Flowmaster finns det ett antal fördefinierade material som kan användas i simuleringarna. Det finns även möjlighet till att skapa sina egna material där man själv specificerar materialets egenskaper.

Nya komponentsymboler

Om användaren vill ändra symbolerna i nätverket eller lägga till egna företagsspecifika är det i Flowmaster möjligt att modifiera existerande symboler på alla komponenterna eller byta ut symbolen mot en egen symbol eller bild.

Byta ut komponenter

Denna funktion underlättar när många komponenter i nätverk ska bytas mot komponenter av en annan typ. Antingen väljs en specifik komponent eller en specifik komponenttyp i nätverket. Efter det väljs vilken typ av komponent som ska ersätta dessa. När exempelvis en viss typ av rör ska bytas ut mot en annan typ av rör är det lämpligt att använda sig av denna funktion då indata till komponenterna kommer att skapas även i de nya komponenterna.

Specifika komponentbibliotek

I Flowmaster kan, förutom det bibliotek av standardkomponenter som finns med i programvaran, egna bibliotek av komponenter skapas som kan vara antingen företags- eller systemspecifika. Detta kan göras genom att antingen skapa genvägar från de existerande komponenterna till en egen mapp som skapats och där spara de valda komponenterna för att göra biblioteket mer företagsspecifikt eller skapa ett bibliotek av komponenter som redan har givna indata som kan fungera mer systemspecifikt.

Genvägar från existerande komponenter

Det bibliotek som skapas när genvägar används kommer att bestå av ett eget urval av standardkomponenter som inte har fördefinierade indata.

Bibliotek med modifierade komponenter

När ett specifikt system modelleras känner man oftast till vilka rördimensioner, rörmaterial och andra egenskaper de komponenter som används har. Då kan det underlätta arbetet att skapa ett bibliotek av komponenter med fördefinierade indata. Det går här att modifiera till vilken grad man vill att komponenterna ska vara fördefinierade. Man vill kanske inte lägga in rörlängderna eftersom detta skulle innebära att man måste skapa en unik komponent för varje rör av olika längd som finns i systemet. Däremot kan det vara effektivt om en komponent skapas där diametern och friktionen specificeras och längden specificeras för varje enskild komponent i modellen.

Subsystem eller subkretsar

När ett system modellerats kan antingen hela systemet sparas och/eller en utvald del av modellen i en så kallad subkrets. När detta görs kommer all indata till komponenterna att sparas i subkretsen. Subkretsen kan sedan användas i andra system eller för att upprepa samma krets flera gånger i samma system. Denna funktion kan underlätta arbetet om samma krets används vid flertalet gånger eller i flera system.

Dynamic Colouration

Dynamic Colouration är en funktion som ska möjliggöra en snabbare överblick av resultaten vid en simulering. För att snabbt kunna undersöka inom vilka gränsvärden parametrar som exempelvis tryck, flöde, värme, med mera håller sig inom kan denna funktion användas. När Dynamic Colouration används väljs först vilken parameter man vill kontrollera. Sedan anges vilka gränsvärden man vill kontrollera. Gränsvärdena kopplas sedan till specifika färger. När simuleringen sedan körs kommer det intervall vilket den valda parametern ligger inom för respektive komponent visas, utan att komponenterna behöver kontrolleras enskilt.

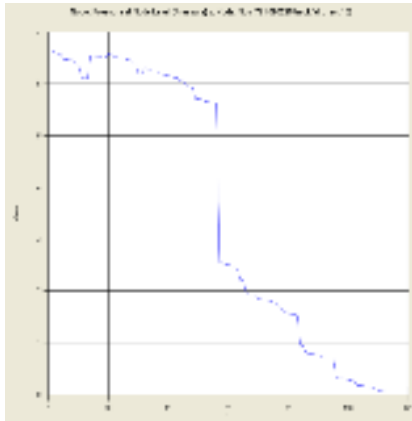
Layers

En metod för att förenkla arbetet med nätverket är att använda så kallade Layers (sv. lager). I Flowmaster kan lager appliceras till valda komponenter eller delar av nätverket. När detta gjorts kan sedan de olika lagrena göras synliga, icke-synliga eller delvis synliga. Det finns också en möjlighet att applicera olika färger till de olika lagrena. Syftet är att enklare kunna synliggöra olika kretsar eller komponenter i nätverket och underlätta arbetet med systemet.

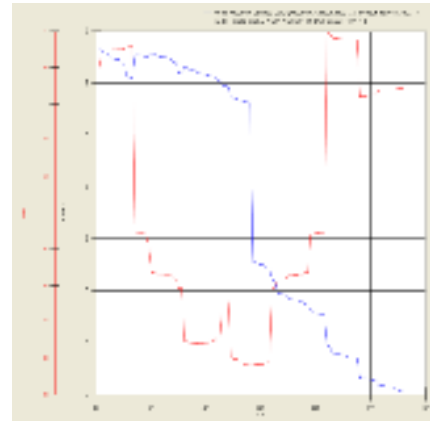
7.2.3 Presentation av resultat

Grafisk presentation

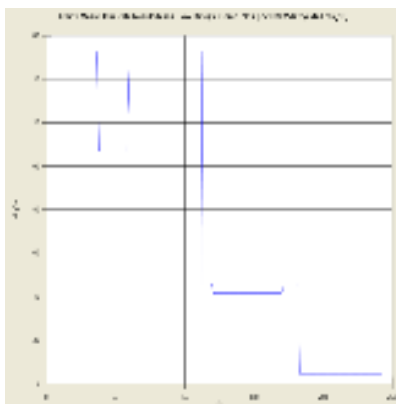
Det finns i Flowmaster goda möjligheter till att presentera resultat i form av grafer. Det vanligaste är att den specifika egenskapen plottas mot komponenternas eller nodernas nummer. Det är dock möjligt att plotta olika egenskaper mot varandra. Nedan visas några exempel på grafer som plottats från Flowmaster.



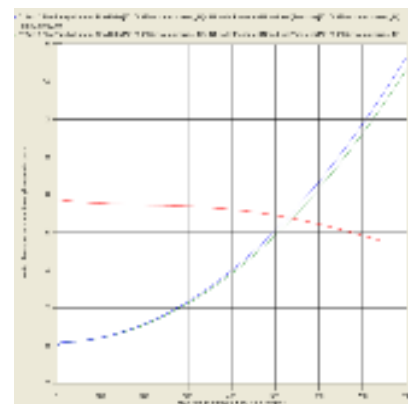
Figur 36: Absoluttrycket i ett systems noder.



Figur 37: Absoluttryck i ett systems noder samt noders höjdnivå.



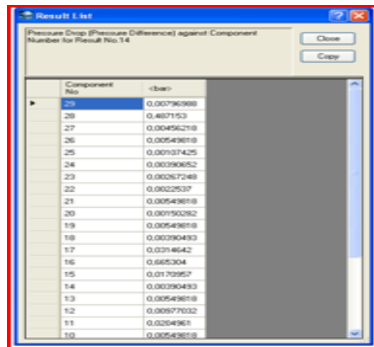
Figur 38: Figuren visar flödet i ett systems komponent.



Figur 39: Figuren visar två systemkurvor plottade mot en pumpkurva.

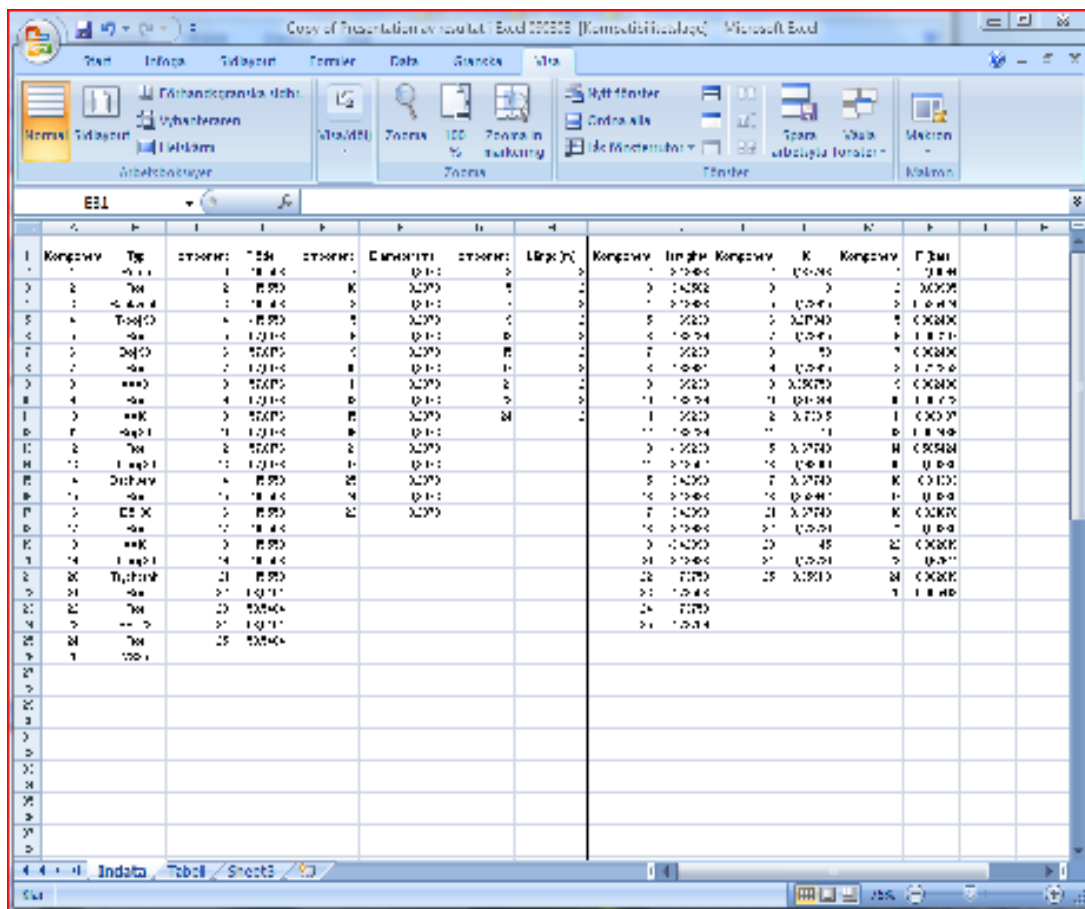
Listor

Det är i Flowmaster möjligt att ta fram listor där den valda egenskapen listas mot komponentnumret. WSE efterfrågar dock tabeller där flera egenskaper hos varje komponent listas bredvid varandra. Det finns i Flowmaster ingen enkel funktion för att göra detta. För att göra detta kopieras de enskilda listorna med egenskaper och komponentnummer till Excel. Eftersom alla komponenter inte har alla av de efterfrågade egenskaperna måste ett enklare program skrivas för att sortera listorna. I Figur 40-42 nedan visas exempel på hur listorna ser ut i Flowmaster samt i Excel efter sortering.



Component No.	Value
28	0.00796388
27	0.007153
26	0.00456218
25	0.00543818
24	0.00317425
23	0.00390852
22	0.00267248
21	0.0022537
20	0.00543818
19	0.00150282
18	0.00543818
17	0.00390483
16	0.0014842
15	0.005304
14	0.0170957
13	0.00390483
12	0.00543818
11	0.00077032
10	0.0264361
9	0.00543818

Figur 40: Figuren visar en resultatlista genererad i Flowmaster



	Kongswy	Typ	Storlek	Material	Längd	Kongswy	Inngång	Kongswy	K	Kongswy	Förhållande
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62
63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69
70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71
72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73
74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78
79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82
83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84
85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87
88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88
89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89
90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92
93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93
94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94
95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97
98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Figur 41: Figuren visar hur indatafältet ser ut i sorteringsprogrammet i Excel

Komponent	Typ	Flöde (kg/s)	Diameter (m)	Längd (m)	Head (m/s)	K	P (W)
1	Pump	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	2.01094
2	Flöde	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
3	Lockventil	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
4	T-linj 90	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
5	Rör	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
6	Rör	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
7	Rör	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
8	Rör	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
9	VV98	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
10	Rör	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
11	VV10	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
12	Rör	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
13	VV10	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
14	Rör	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
15	T-linj 90	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
16	Lockventil	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
17	Rör	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
18	Rör	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
19	Rör	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
20	VV10	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
21	T-linj 90	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
22	Rör	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
23	Rör	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
24	VV20	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
25	Rör	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
26	VV20	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
27	Rör	115.558	0.2073	2	3.42598	0.157748	0.00584984
28	ASAKNARI	ASAKNARI	ASAKNARI	ASAKNARI	ASAKNARI	ASAKNARI	ASAKNARI
29	ASAKNARI	ASAKNARI	ASAKNARI	ASAKNARI	ASAKNARI	ASAKNARI	ASAKNARI
30	ASAKNARI	ASAKNARI	ASAKNARI	ASAKNARI	ASAKNARI	ASAKNARI	ASAKNARI

Figur 42: Figuren visar hur resultaten presenteras som listor uppstaplade bredvid varandra

Automatgenererade rapporter

Det är i Flowmaster mycket enkelt att skapa automatgenererade rapporter från programmet. I rapporterna finns all information från simuleringen inklusive indata och resultat. Det går att till en viss grad modifiera innehållet i rapporterna, dock ej fullständigt.

8 Analys

I detta kapitel kommer en sammanfattande diskussion om tillförlitlighet, användarvänlighet och de fördelar och nackdelar som finns med respektive programvara.

8.1 Tillförlitlighet

Flowmaster använder i simuleringarna experimentella data från Miller [2], för att beräkna flödesmotstånd och tryckfall. I handberäkningarna med Excel baseras de experimentella data från Idelchik [1]. Det är därför intressant att kontrollera att resultaten inte skiljer sig signifikant mellan beräkningarna baserade på olika experimentella data.

Jämförande tester av komponenter och systemkretsar tyder på att skillnaderna mellan resultaten från simuleringarna i Flowmaster och handberäkningarna med Excel-programmet är små. Samtliga tester visar att resultaten ligger inom toleransnivån på maximalt 5 % skillnad. Därmed anses tillförlitligheten för Flowmaster avseende de beräknade resultaten vara god. Resultaten visar att skillnaden mellan beräkningar med experimentella data från Miller och beräkningar med experimentella från Idelchik är liten och resultaten ligger inom toleransnivån.

En annan aspekt som påverkar tillförlitligheten för programmet är möjligheten till att kunna begränsa användarnas rättigheter. Eftersom det går att låsa system och ge olika användare olika rättigheter minskar risken för att ändringar görs i befintliga beräkningar eller komponentbibliotek som skulle kunna leda till felaktiga resultat om de inte upptäckts. Detta är en viktig funktion som ökar säkerheten i programvaran generellt.

Möjligheten till att göra programmet företagsspecifikt med exempelvis egna komponentbibliotek anses öka tillförlitligheten. Detta på grund av att om material och komponenter med indata finns färdiga i programmet minskar risken för felinmatningar som annars varit svåra att upptäcka. Det bör dock nämnas att de skapade materialen och komponenterna måste vara noggrant kontrollerade eftersom det annars skulle innebära att ett mindre fel i inmatningen till en fördefinierad komponent skulle ge stora fel då alla komponenter av den typen då skulle ha inkorrekta data.

8.2 Presentation av resultat, granskningsbarhet

I Flowmaster kan resultaten presenteras grafiskt, i listor eller med programmets egna automatgenererade rapporter.

Den grafiska presentationen av resultaten fungerar tillfredställande och det finns många alternativ för vilka resultat och hur de ska plottas. I standardgraferna plottas valda egenskaper mot komponenternas eller nodernas nummer. Denna representation fungerar för de flesta egenskaper man vill presentera. Det finns även möjligheter att plotta valda komponenters eller noders olika egenskaper mot varandra. Ett problem som kan uppkomma är om man i ett system har flera parallella kretsar vilket kan medföra att de komponenter eller noder som man vill plotta inte är numrerade i följd. Det uppstår då hopp i graferna, vilka är svårtolkade.

Presentationen av resultaten eller indata i form av listor är enkel, men begränsas av att endast en egenskap hos de valda komponenterna/noderna listas. För att skapa en

resultatlista med flera egenskaper listade bredvid varandra måste de kopieras till Excel. Detta upplevs som något krångligt då listorna som baseras på komponentnumren och måste sorteras i Excel. Det kan dock lösas med en sorteringsrutin i Excel.

De av Flowmaster automatgenererade rapporterna är mycket enkla att skapa och innehållet kan till viss del väljas innan de genereras. De automatgenererade rapporterna bedöms som svåra att granska eftersom de blir mycket omfattande och datalistorna inte presenteras uppspaltade utan på olika sidor.

8.3 Inlärningsströskel och användarvänlighet

Flowmaster är ett avancerat simuleringsprogram där möjligheter finns för att genomföra många olika typer av simuleringar och beräkningar. Att Flowmaster kan genomföra många typer av analyser och har många alternativ för hur data ska anges gör att programmet kräver att användaren vet vad programmet kräver i den specifika situationen. För att genomföra en simulering i Flowmaster krävs att användaren förstått programstrukturen och hur data anges för olika komponenterna. Detta är inte helt enkelt och kräver att användaren lägger ner en viss tid på att lära sig grunderna i programmet innan hon/han kan arbeta i programmiljön.

För enklare komponenter som exempelvis rör och böjar är inmatningen av data rättfram och enkel, men mer komplicerade komponenter som värmeväxlare, pumpar eller ventiler kräver att man har kunskap i programmiljön och hur komponenterna fungerar. Exempelvis kräver många komponenter att data anges i form av kurvor eller ytor. Saknas kännedom om programmiljön blir det tidskrävande att ta reda på hur dessa skapas i programmet.

Det finns en mycket omfattande hjälpfunktion till programmet. I hjälpfunktionen finns beskrivningar av hur komponenterna är uppbyggda, hur de fungerar analytiskt, vilka typer av simuleringar de kan användas till samt vilka data som krävs. Trots att hjälpfunktionen är mycket omfattande upplevs det som relativt svårt att hitta och tolka informationen som eftersöks.

Det finns stora möjligheter till att göra programmet företagsspecifikt och anpassat efter de egna behoven. Eftersom det är möjligt att skapa egna bibliotek för system, komponenter, material med mera kan simuleringarna underlättas även för mindre vana användare, då man inte behöver göra lika mycket avancerade inmatningar. Om alla vanliga komponenter och material finns specificerade kommer tid och arbete att sparas i framtida simuleringar.

Sammanfattningsvis är Flowmasters programmiljö anpassad för avancerade användare. Detta medför att den initiala inlärningsprocessen kräver en viss tid. En avancerad programmiljö kan dock vara positivt för avancerade användare som då får större möjligheter att lösa och modifiera avancerade system. För att programmets kapacitet ska utnyttjas effektivt bör man använda sig av möjligheten till att göra det företagsspecifikt och skapa egna bibliotek. För att underlätta inläringen bör en manual för programmets grunder och mer specifika funktioner upprättas.

8.4 Fördelar och nackdelar

8.4.1 Fördelar Flowmaster

De viktigaste fördelarna med Flowmaster har listas nedan

Avancerad programvara

Det är i Flowmaster möjligt att genomföra fler typer av analyser än med handberäkningarna i Excel. I Flowmaster är det möjligt att göra beräkningar av avancerade transienta förlopp samt även göra beräkningar med kompressibla medium. Detta gör att programmet har fler potentiella användningsområden och därmed blir mer användbart och även utvecklingsbart för framtida applikationer.

Programvaran är etablerad på marknaden

Om man arbetar mot/med stora aktörer som exempelvis Toshiba är det bra att kunna redovisa sina resultat från etablerade programvaror istället för från handberäkningar.

Fler möjligheter till att presentera resultaten

Flowmaster har flera möjligheter att presentera resultaten. Den grafiska presentationen fungerar bra och gör det lätt att överblicka resultaten. Att presentera med listor fungerar, trots att det kräver ett visst merarbete. Grafisk presentation samt bild över modellen gör resultaten enklare att överblicka.

Användarrättigheter kan begränsas

Möjligheten till att begränsa rättigheterna för olika användare ökar säkerheten eftersom endast personer med rättigheter kan göra ändringar i de låsta systemen. Till skillnad från Excel är det inte möjligt att förändra de ekvationer som programmet använder för att iterera fram exempelvis tryckfallen.

Programmet kan göras företagsspecifikt

Möjligheten till att kunna modifiera bibliotek, spara specificerade komponenter eller delsystem minskar dels risken för att fel ska uppkomma samt underlättar arbetet efter det initiala arbetet är genomfört.

Enkelt att modifiera modellerna

Det är relativt enkelt att i Flowmaster göra förändringar i modellen. Att göra en modellförändring fungerar på liknande sätt som när ett nytt system ska modelleras. Om användaren exempelvis vill testa att byta rörtyp kan samtliga eller specifikt utvalda rör ersättas med hjälp av en specifik funktion. På så sätt behöver inte varje enskild komponent modifieras.

Många funktioner

Flowmaster har många funktioner för att underlätta arbetet med simuleringarna. Funktionerna förenklar arbetet med simuleringarna och även granskningen av resultaten.

Mer avancerade beräkningar

Med Flowmaster är det lätt att genomföra mer avancerade tryckfallsberäkningar där programmet i varje punkt tar hänsyn till höjdnivån och hur interaktionen mellan närliggande komponenter påverkar det tryckfall som uppkommer. Att ta med höjdnivå och interaktionseffekter mellan komponenter är mycket enkelt i Flowmaster och kräver relativt lite merarbete. Eftersom Flowmaster simulerar en modell av det verkliga systemet kan även konstruktionstryck och NPSH beräknas direkt från programmet. Det är även enkelt att iterera fram nya ventilinställningar genom flödesbalanseringsanalyser.

8.4.2 Nackdelar Flowmaster

Nedan listas de viktigaste nackdelarna hos Flowmaster.

Högre inlärningströskel

Flowmaster har en högre inlärningströskel än handberäkningarna i Excel. Programmet är designat för avancerade användare och för att kunna genomföra simuleringar bör i alla fall grundkunskaper i programmiljön finnas.

Svårare att skapa indata

För vissa komponenter måste kurvor och ytor anges som indata till komponenterna. Detta leder i vissa fall till merarbete som om exempelvis endast en fullt öppen ventil ska modelleras och det krävs att en hel ventilkurva definieras. Det bör dock nämnas att komponenten blir mer flexibel när en kurva eller yta har definierats, eftersom flera driftspositioner kan simuleras. För vissa komponenter är intrycket att mer indata än vad som egentligen krävs för enkla tryckfallsberäkningar måste anges.

Modeller för vissa komponenter saknas

Flowmaster saknar modeller för ett antal komponenter. I Flowmaster saknas en modell för plattvärmeväxlare. Detta är begränsande eftersom många system som WSE arbetar mot har plattvärmeväxlare. Anmärkningsvärt är också att Flowmaster har en modell för gradvis uppkoning, men saknar en modell för gradvis nedkoning. Det går dock att modellera genom att vända konen och ange ett engångsmotstånd för bakåtförlopp i komponenten.

Modellering av värmeväxlare

Att modellera en värmeväxlare i Flowmaster kräver att en yta anges som specificerar värmeväxlarens egenskaper. För att skapa dessa data behövs specifikationer med flera driftspunkter från leverantören eller att data skapas från värmeväxlarprogrammet i Excel. Modelleringen av värmeväxlare med hjälp av specifika data som hydraulisk diameter, värmeledningstal, värmeledningssyta osv. kräver vidare utredning.

Numrering av komponenter och noder

När resultaten presenteras bygger det huvudsakligen på komponenternas och nodernas numrering. För ett enkelt system som system 712 fungerar numreringen enkelt, men när systemen har parallella kretsar måste användaren vara noggrann över hur numreringen görs, eftersom den kommer att påverka hur resultaten presenteras. I Flowmaster finns en funktion för automatisk omnumrering av systemet som ska omnumrera efter komponenternas ordning. Den fungerar för de enkla systemen, men ej för parallella slutna kretsar där det är svårt att se någon logik i omnumreringen, som blir till synes slumpmässig. Manuell omnumrering är möjlig, men är tidskrävande.

Granskningbara listor

För att skapa en lista där komponenterna och ett antal av de viktigaste resultaten finns uppräddade bredvid varandra, vilket av WSE anses viktigt för att enkelt kunna granska resultaten, krävs det att resultaten kopieras över till Excel och där sedan sorteras. Detta kan öka risken för fel då ett extra steg krävs innan resultaten granskas.

8.4.3 Fördelar Excel

Nedan listas de viktigaste fördelarna med Excel-programmet

Låg inlärningströskel

Inlärningströskeln för att kunna genomföra tryckfallsberäkningar med hjälp av Excel-programmet bedöms som låg. Excel-programmet kräver inte att användaren måste lära sig någon avancerad programmiljö, utan det räcker att ange rörlängder och engångsmotstånd som indata till komponenterna. Det krävs inte någon programspecifik kunskap för att ange indata till komponenterna i systemet då motståndstalen beräknas för hand och anges i en separat kolumn.

Enkelt att presentera resultatlistor

Eftersom beräkningarna genomförs med hjälp av datalistor i Excel kommer resultaten från respektive beräkning finnas tillgänglig i form av en lista så fort beräkningen är genomförd. Det enda som krävs för att få en efterfrågad presentation av resultaten är att det totala motståndstalet och tryckfallet summeras.

Enkelt att göra ändringar i beräkningarna

Det är enkelt att göra förändringar i beräkningarna. Om exempelvis en komponent skulle bytas ut mot en ny behövs bara det nya motståndstalet anges istället för det gamla.

Enkelt att granska resultaten

För att granska resultaten eftersträvar granskarna på WSE att resultaten från beräkningarna ska vara tydligt redovisade i tabeller där både indata och resultat kan avläsas för respektive komponent. Eftersom resultaten från respektive komponent finns listade är det relativt enkelt att upptäcka om något värde avviker signifikant.

8.4.4 Nackdelar Excel

Nedan listas de viktigaste nackdelarna med Excel-programmet

Enklare programvara

I Excel-programmet är det relativt enkelt att genomföra enklare tryckfallsberäkningar. Programmet klarar dock inte av kompressibla medium eller avancerade transientberäkningar. Detta gör att användningsområdet för programmet är mer begränsat.

Minskad noggrannhet

När motståndstalen för olika komponenter beräknas hämtas värden från Idelchik. När sedan motståndstalen beräknats och ska anges som engångsmotstånd kommer programmet inte ta hänsyn till den statiska uppfodringshöjden eller till interaktionseffekterna mellan komponenterna som kan påverka det beräknade tryckfallet för systemet. Dessa effekter kan beräknas och anges i engångsmotstånden hos komponenterna, men skulle ta mycket tid och detta steg inkluderas därför sällan i de befintliga beräkningarna. Detta leder till en försämrad noggrannhet i resultaten. För beräkningarna används Idelchik som grund [1]. Det finns dock en förenklad formelsamling som vanligen används för att hämta komponentdata. Denna formelsamling innehåller en del förenklingar vilket också minskar noggrannheten i resultaten.

Högre risk för fel i indata

Eftersom motståndstalet för respektive komponent måste beräknas med handberäkningar ökar risken för fel ju fler beräkningar som måste genomföras. Vissa komponenter kräver relativt komplicerade beräkningar vilket gör att mindre fel lätt uppkommer.

Det kan också vara relativt svårt att upptäcka om det finns ett fel i indata. Detta på grund av att programmet är uppbyggt i en arbetsbok i Excel och det kan vara svårt att upptäcka mindre indatafel när systemen är större och beräkningarna kan vara på flera hundra rader i kalkylbladet. Att beräkningar görs med kalkylbladet och huvudsakligen presenteras med siffror och komponentbenämningar gör att det uppfattas som svårare att skapa en bra bild över hur det verkliga systemet ser ut.

Inga begränsade användarrättigheter

Innan beräkningarna ska genomföras hämtas en kopia av originalet för Excel-programmet. Om användaren av något skäl skulle ändra i programmets ekvationer skulle det kunna leda till felaktiga resultat. En ändring i ekvationerna skulle också vara mycket svår att upptäcka när resultaten ska granskas. Detta medför att programmets säkerhet blir lägre.

Sämre grafisk presentation av resultaten

När beräkningarna genomförts med Excel-programmet är möjligheterna till att enkelt presentera resultaten grafiskt begränsade. Detta upplevs som begränsande eftersom grafisk presentation kan underlätta förståelsen av systemet då det ger en bättre överblick jämfört med listade resultat.

Ej etablerad programvara på marknaden

Excel-programmet är skapat av WSE för att underlätta tryckfallsberäkningarna. Eftersom programmet inte är etablerat på marknaden kan det av kunder upplevas som negativt att kunden ej kan få tillgång till programmet för att kontrollera beräkningarna. I vissa projekt kan kunder kräva att beräkningarna genomförs i någon accepterad programvara som finns tillgänglig på marknaden, vilket skulle innebära att handberäkningarna med Excel-programmet inte kan användas.

9 Slutsatser

Resultaten från komponenttesterna och de modellerade systemen tyder på att tillförlitligheten i de beräknade resultaten med Flowmaster är god. Det förekommer endast små avvikelser mellan beräkningarna i Flowmaster jämfört med Excel-programmet. Den enda signifikanta avvikelserna som påvisats är modellering av ventilerna i Flowmaster där resultaten på grund av anpassning av indatakurvan skiljer sig mellan Flowmaster och Excel-programmet. Övriga resultat ligger inom den givna toleransnivån.

Användarvänligheten i Flowmaster är relativt låg för nya användare och programmiljön är skapad för avancerade användare. Det krävs programspecifik kunskap för att skapa även enklare system och inmatning av indata till komponenterna upplevs som komplicerad. Flowmaster fungerar dock bra som verktyg när användaren vant sig med programmiljön och kan utnyttja programmets funktioner. Om möjligheten till att göra programmet företagsspecifikt används kommer det bli enklare och smidigare att skapa modeller och köra simuleringar med programmet. Det kan även vara viktigt för att minska inlärningströskeln för nya användare då många avancerade inmatningar redan är genomförda och den nya användaren kan koncentrera sig på simuleringen.

Möjligheterna till att presentera granskningsbara resultat i Flowmaster finns. Den grafiska presentationen av resultaten är i Flowmaster bra. Presentationen av resultat i listor har begränsningar, men kan göras enligt WSE:s specifikationer med hjälp av Excel. Detta kräver merarbete, men totalt sett anses möjligheten till att presentera resultaten bättre i Flowmaster än i Excel.

Det finns både fördelar och nackdelar med Flowmaster i jämförelse med handberäkningarna med Excel-programmet. De viktigaste fördelarna är möjligheterna till att begränsa användarrättigheterna vilket minskar risken för att fel ska uppkomma, möjligheterna att kunna bygga stora avancerade modeller där flera olika typer av analyser kan genomföras samt att programvaran är etablerad på marknaden, vilket kan ge WSE en ökad trovärdighet i jämförelse med att genomföra handberäkningar med ett egenutvecklat Excel-program. De främsta nackdelarna med Flowmaster i jämförelse med Excel-programmet är att inlärningströskeln är hög, vilket medför att många mantimmar måste användas för att lära sig programmiljön innan simuleringar kan genomföras, möjligheterna till presentationer i listor kräver merarbete innan resultatet kan presenteras enligt WSE:s specifikationer samt att inmatning av indata i Flowmaster för vissa komponenter upplevs som krånglig och kräver god förståelse av både den aktuella komponenten samt programmiljön. Sammanfattningsvis bedöms Flowmasters fördelar väga tyngre än nackdelarna. De flesta av egenskaperna som upplevts som negativa med Flowmaster beror på den höga inlärningströskeln, vilken gör att nackdelarna kommer upplevas som mindre för en avancerad användare. En stor fördel för Flowmaster är att programmet klarar av mer avancerade analyser än de analyser som idag körs i Excel-programmet. Att kunna använda programvaran för flera typer av analyser och enkelt kunna bygga upp stora modeller gör programmet användbart i fler situationer. Detta är positivt om antalet olika programvaror som krävs för olika beräkningar kan minskas.

10 Referenslista

- [1] Formelsamling, Imatran Voima OY, AEC-TR-6630, ABB-Atom, 1980-09-18.
- [2] Miller,D.S: Internal Flow System, Second edition, BHR Group Limited, Cranfield, Bedford, 1996.
- [3] Presentation av WSE, internt Pdf-dokument som presenterar företagsfakta.
- [4] Flowmaster, Flowmaster V7 New User Training.
- [5] System 721 tryckfallsberäkningar, 08-0015, rev 0, Westinghouse Electric Sweden AB, 2008-03-31.
- [6] System 712 Tryckfallsberäkningar, 07-0031, rev 0, Westinghouse Electric Sweden AB, 2008.
- [7] White, F.M: Fluid Mechanics, Fifth edition, McGraw-Hill, New York, 2003.
- [8] Föreläsningsmaterial från kursen termodynamik del 2 (fluidmekanik)
http://www.el.angstrom.uu.se/kurser/termo05/F%F6rel%E4sning_1_fluidmek_vt_2004.pdf (hämtad 1 november 2008).
- [9] Föreläsningsmaterial från kursen termodynamik del 2 (fluidmekanik)
http://www.el.angstrom.uu.se/kurser/termo05/F%F6rel%E4sning_3_fluidmek_vt_2004.pdf (hämtad 1 november 2008).
- [10] ASEA-Atom – Beräkningsprogram för tryckfallsberäkningar vid vattenströmning I rörsystem, SDC-94-1337, Westinghouse Electric Sweden AB, 1994-07-04.
- [11] Slutgiltig säkerhetsrapport för system 721, FSAR-721, 2004-01-21.
- [12] Baslägeslista för ventiler, DI-3 721-0
- [13] Slutgiltig säkerhetsrapport för system 712, FSAR-712, 2004.

Bilaga 1: Indata och resultat i tabellform för system 721

Rör

Innerdiameter

Innerdiametern för respektive rörkomponent finns angiven i tabell 24.

Längd

Längden för respektive rörkomponent finns angiven i tabell 24.

Böjar

Friktionsdata

Relativ råhet = k/D

Där

k = ytråheten

D = hydrauliska diametern

$$D = \frac{4 \cdot D^2}{4 \cdot D}$$

Rördimension	Relativ råhet
DN200	$\frac{0,1}{207,3} = 4,824 \cdot 10^{-4}$
DN150	$\frac{0,1}{159,3} = 6,277 \cdot 10^{-4}$
DN125	$\frac{0,1}{131,7} = 7,593 \cdot 10^{-4}$
DN100	$\frac{0,1}{107,2} = 9,337 \cdot 10^{-4}$
DN50	$\frac{0,1}{54,5} = 1,835 \cdot 10^{-3}$

Radie/diameter

DN200	$r/d = 1,5$
DN150	$r/d = 1,5$
DN125	$r/d = 1,5$
DN100	$r/d = 1,5$
DN50	$r/d = 1,5$

T-stycken

I Flowmaster har t-styckena fördefinierade kurvor och ytor som kan iterera fram flödesfördelningen och tryckfallet. Som indata anges innerdiametern hos det genomgående röret samt för grenröret.

Ventiler

För att modellera ventilerna i Flowmaster har en ventil av typen ”Ball valve” använts som en standardkomponent. Sedan har specifika kurvor där förlustkoefficienten plottas mot öppningsgraden. Programmet använder sedan dessa kurvor för att kunna iterera fram det tryckfall som uppkommer hos ventilen vid en specifik öppningsgrad.

Undantaget är backventilerna som på grund av brist på indata modelleras med hjälp av en Discrete Loss komponent där förlustkoefficienten beräknas manuellt och sätts som förlustkoefficient för flödet i positiv riktning. För att få komponenten att fungera som en backventil sätts förlustkoefficienten för det negativa flödet till ett högt tal.

Ventilkurvor

Nedan visas tabeller för hur kurvorna till ventilerna för respektive rördimension.

Förlustkoefficienten beräknas fram genom följande ekvation: $K = \left(\frac{1,57 \cdot d^4}{1000 \cdot K_v^2} \right)$. K_v och C_v värdena är hämtade från tillverkarnas specifikationer.

Tabell 18: Specifikation av ventilkurvan för ventiler med dimensionen DN200.

Position (grader)	Ratio	K_v	K
10	0,111	21	6574,433
20	0,222	95	321,255
30	0,333	220	59,903
40	0,444	380	20,078
50	0,555	590	8,329
60	0,667	950	3,212
70	0,778	1550	1,207
80	0,889	2410	0,499
90	1,0	2840	0,359

Tabell 19: Specifikation av ventilkurvan för ventiler med dimensionen DN150.

Position (grader)	Ratio	K_v	K
10	0,111	15	4493,453
20	0,222	52	373,901
30	0,333	120	70,210
40	0,444	220	20,889
50	0,555	340	8,746
60	0,667	550	3,342
70	0,778	950	1,120
80	0,889	1380	0,531
90	1,0	1630	0,381

Tabell 20: Specifikation av ventilkurvan för ventiler med dimensionen DN125.

Position (grader)	Ratio	K_v	K
10	0,111	9	5 831,20
20	0,222	38	327,10
30	0,333	86	63,86
40	0,444	160	18,45
50	0,555	240	8,20
60	0,667	390	3,11
70	0,778	640	1,15
80	0,889	950	0,52
90	1,0	1120	0,38

Tabell 21: Specifikation av ventilkurvan för ventiler med dimensionen DN100.

Position (grader)	Ratio	K_v	K
10	0,111	6	5 737,93
20	0,222	28	263,48
30	0,333	63	52,05
40	0,444	110	17,07
50	0,555	180	6,38
60	0,667	280	2,64
70	0,778	450	0,98
80	0,889	720	0,40
90	1,0	820	0,31

Tabell 22: Specifikation av ventilkurvan för ventiler med dimensionen DN50.

Position (grader)	Ratio	K_v	K
10	0,111	2	3 462,79
20	0,222	8	216,42
30	0,333	18	42,75
40	0,444	30	15,39
50	0,555	50	5,54
60	0,667	80	2,16
70	0,778	130	0,82
80	0,889	200	0,35
90	1,0	220	0,29

Tabell 23: Specifikation av ventilkurvan för ventiler med dimensionen DN50 för ventil 721 VC16 med dimensionen DN50.

Position (%)	Ratio	K_v	K
10	0,1	2,7	1 900,02
20	0,2	4,9	576,89
30	0,3	7,2	276,19
40	0,4	10	138,51
50	0,5	12,2	93,06
60	0,6	14,3	67,74
70	0,7	16,6	50,27
80	0,8	19,2	37,57
90	0,9	22,3	27,85
100	1,0	24	24,05

Öppningsgrad

Öppningsgraden hos respektive ventil har hämtats från baslägeslistan från X.

Innerdiameter

Innerdiameteren hos respektive ventil finns angiven i tabell 24.

Värmeväxlare

De angivna k -värdena finns angivna i tabell 24.

5.1.4 Resultat i tabellform

Tabell 24: Resultat från simuleringen av system 721 med befintliga ventilinställningar.

Komponent	Typ	Flöde (kg/s)	Diameter (m)	Längd (m)	Hastighet (m/s)	K	Tryckfall (bar)
1	PC1	150,3	#SAKNAS!	#SAKNAS!	#SAKNAS!	#SAKNAS!	#SAKNAS!
2	Rör	150,3	0,2073	0,47	4,474	0,0390	0,00389
3	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1798	0,01791
4	Rör	150,3	0,2073	0,31	4,474	0,0252	0,00251
5	VC3	150,3	#SAKNAS!	#SAKNAS!	4,474	0,9690	0,09651
6	Rör	150,3	0,2073	0,95	4,474	0,0784	0,00781
7	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1798	0,01791
8	Rör	150,3	0,2073	0,37	4,474	0,0303	0,00302
9	VC4	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,3588	0,03575
10	Rör	150,3	0,2073	5,50	4,474	0,4537	0,04520
11	KC301	150,3	#SAKNAS!	#SAKNAS!	4,474	2,2800	0,22707
12	Rör	150,3	0,2073	2,45	4,474	0,2022	0,02014
13	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1816	0,01810
14	Rör	150,3	0,2073	5,11	4,474	0,4219	0,04203
15	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,0592	0,00590
16	Rör	150,3	0,2073	0,90	4,474	0,0742	0,00740
17	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,0592	0,00590
18	Rör	150,3	0,2073	5,02	4,474	0,4142	0,04127
19	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1798	0,01791
20	Rör	150,3	0,2073	1,04	4,474	0,0860	0,00856
21	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1798	0,01791
22	Rör	150,3	0,2073	4,60	4,474	0,3795	0,03781
23	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1798	0,01791
24	Rör	150,3	0,2073	1,05	4,474	0,0866	0,00863
25	DL	150,3	#SAKNAS!	#SAKNAS!	4,474	0,0000	0,00000
26	Rör	150,3	0,2073	2,70	4,474	0,2227	0,02219
27	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1807	0,01800
28	Rör	150,3	0,2073	8,50	4,474	0,7012	0,06986
29	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,0592	0,00590
30	Rör	150,3	0,2073	26,60	4,474	2,1947	0,21865
31	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1798	0,01791
32	Rör	150,3	0,2073	1,47	4,474	0,1209	0,01204
33	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1798	0,01791
34	Rör	150,3	0,2073	4,90	4,474	0,4042	0,04027
35	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1807	0,01800
36	Rör	150,3	0,2073	0,48	4,474	0,0398	0,00397
37	T-stycke	-150,3	#SAKNAS!	#SAKNAS!	-4,474	#SAKNAS!	#SAKNAS!
38	Rör	107,9	0,2073	1,00	3,212	0,0832	0,00427
39	VC5	107,9	0,2073	#SAKNAS!	3,212	0,3588	0,01842
40	Rör	107,9	0,2073	2,00	3,212	0,1667	0,00856
41	Böj	107,9	0,2073	#SAKNAS!	3,212	0,1871	0,00961
42	Rör	107,9	0,2073	5,05	3,212	0,4208	0,02161
43	Böj	107,9	0,2073	#SAKNAS!	3,212	0,1871	0,00961
44	Rör	107,9	0,2073	10,98	3,212	0,9150	0,04698
45	Böj	107,9	0,2073	#SAKNAS!	3,212	0,1862	0,00956
46	Rör	107,9	0,2073	0,94	3,212	0,0787	0,00404
47	Böj	107,9	0,2073	#SAKNAS!	3,212	0,1862	0,00956
48	Rör	107,9	0,2073	2,35	3,212	0,1958	0,01006
49	322 EC1	107,9	#SAKNAS!	#SAKNAS!	3,212	7,3500	0,37719

50	Rör	107,9	0,2073	2,35	3,212	0,1958	0,01006
51	Böj	107,9	0,2073	#SAKNAS!	3,212	0,1871	0,00961
52	Rör	107,9	0,2073	10,98	3,212	0,9150	0,04698
53	Böj	107,9	0,2073	#SAKNAS!	3,212	0,1871	0,00961
54	Rör	107,9	0,2073	5,05	3,212	0,4208	0,02161
55	Böj	107,9	0,2073	#SAKNAS!	3,212	0,1871	0,00961
56	Rör	107,9	0,2073	1,30	3,212	0,1083	0,00556
57	VC6	107,9	0,2073	#SAKNAS!	3,212	61,0785	3,13617
58	Rör	107,9	0,2073	1,70	3,212	0,1416	0,00727
59	T-stycke	-107,9	#SAKNAS!	#SAKNAS!	-3,212	#SAKNAS!	#SAKNAS!
60	Rör	150,3	0,2073	0,48	4,474	0,0398	0,00397
61	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1807	0,01800
62	Rör	150,3	0,2073	5,30	4,474	0,4372	0,04356
63	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1798	0,01791
64	Rör	150,3	0,2073	2,04	4,474	0,1682	0,01676
65	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1798	0,01791
66	Rör	150,3	0,2073	26,60	4,474	2,1947	0,21865
67	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,0592	0,00590
68	Rör	150,3	0,2073	0,40	4,474	0,0330	0,00329
69	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,0592	0,00590
70	Rör	150,3	0,2073	8,00	4,474	0,6600	0,06575
71	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1807	0,01800
72	Rör	150,3	0,2073	1,45	4,474	0,1196	0,01192
73	DL	150,3	#SAKNAS!	#SAKNAS!	4,474	0,0000	0,00000
74	Rör	150,3	0,2073	2,10	4,474	0,1732	0,01726
75	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1807	0,01800
76	Rör	150,3	0,2073	4,70	4,474	0,3877	0,03863
77	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1807	0,01800
78	Rör	150,3	0,2073	1,05	4,474	0,0864	0,00861
79	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1798	0,01791
80	Rör	150,3	0,2073	4,55	4,474	0,3751	0,03737
81	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,0592	0,00590
82	Rör	150,3	0,2073	1,10	4,474	0,0907	0,00904
83	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1807	0,01800
84	Rör	150,3	0,2073	5,52	4,474	0,4555	0,04538
85	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1816	0,01810
86	Rör	150,3	0,2073	17,90	4,474	1,4767	0,14712
87	DL	150,3	#SAKNAS!	#SAKNAS!	4,474	0,0000	0,00000
88	Rör	150,3	0,2073	1,35	4,474	0,1114	0,01110
89	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1807	0,01800
90	Rör	150,3	0,2073	1,45	4,474	0,1196	0,01192
91	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1807	0,01800
92	VC1	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,3588	0,03575
93	Rör	150,3	0,2073	0,27	4,474	0,0226	0,00225
94	KC502	150,3	#SAKNAS!	#SAKNAS!	4,474	0,0000	0,00000
95	Rör	150,3	0,2073	1,44	4,474	0,1187	0,01183
96	721 EC1	150,3	#SAKNAS!	#SAKNAS!	4,474	5,0800	0,50594
97	Rör	150,3	0,2073	1,44	4,474	0,1187	0,01183
98	KC501	150,3	#SAKNAS!	#SAKNAS!	4,474	0,0000	0,00000
99	Rör	150,3	0,2073	0,71	4,474	0,0587	0,00584
100	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1807	0,01800
101	Rör	150,3	0,2073	1,45	4,474	0,1196	0,01192
102	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1807	0,01800
103	Rör	150,3	0,2073	8,31	4,474	0,6851	0,06826

104	CC1	150,3	#SAKNAS!	#SAKNAS!	4,474	0,0000	0,00000
105	Rör	150,3	0,2073	0,83	4,474	0,0685	0,00682
106	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1807	0,01800
107	Rör	150,3	0,2073	0,37	4,474	0,0303	0,00302
108	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1807	0,01800
109	VC2	150,3	#SAKNAS!	#SAKNAS!	4,474	0,3600	0,03585
110	Rör	150,3	0,2073	1,27	4,474	0,1044	0,01040
111	Böj	150,3	0,2073	#SAKNAS!	4,474	0,1807	0,01800
112	Rör	150,3	0,2073	0,89	4,474	0,0736	0,00733
113	Rör	42,4	0,1593	0,77	2,137	0,0899	0,00204
114	Böj	42,4	0,1593	#SAKNAS!	2,137	0,2111	0,00480
115	Rör	42,4	0,1593	3,07	2,137	0,3595	0,00817
116	Böj	42,4	0,1593	#SAKNAS!	2,137	0,2111	0,00480
117	Rör	42,4	0,1593	4,80	2,137	0,5626	0,01279
118	Böj	42,4	0,1593	#SAKNAS!	2,137	0,2111	0,00480
119	Rör	42,4	0,1593	1,28	2,137	0,1500	0,00341
120	T-stycke	-42,4	#SAKNAS!	#SAKNAS!	-2,137	#SAKNAS!	#SAKNAS!
121	Rör	37,9	0,1593	0,20	1,912	0,0236	0,00043
122	Kon	-37,9	#SAKNAS!	#SAKNAS!	-1,912	0,0500	0,00445
123	Rör	37,9	0,1071	8,22	4,230	1,5339	0,13660
124	Böj	37,9	0,1071	#SAKNAS!	4,230	0,2026	0,01805
125	Rör	37,9	0,1071	4,32	4,230	0,8059	0,07177
126	Böj	37,9	0,1071	#SAKNAS!	4,230	0,2026	0,01805
127	Rör	37,9	0,1071	0,60	4,230	0,1120	0,00997
128	Böj	37,9	0,1071	#SAKNAS!	4,230	0,2026	0,01805
129	Rör	37,9	0,1071	1,15	4,230	0,2146	0,01911
130	Böj	37,9	0,1071	#SAKNAS!	4,230	0,2026	0,01805
131	Rör	37,9	0,1071	1,04	4,230	0,1947	0,01733
132	Böj	37,9	0,1071	#SAKNAS!	4,230	0,2026	0,01805
133	Rör	37,9	0,1071	0,51	4,230	0,0942	0,00839
134	Böj	37,9	0,1071	#SAKNAS!	4,230	0,2026	0,01805
135	Rör	37,9	0,1071	2,33	4,230	0,4347	0,03871
136	Böj	37,9	0,1071	#SAKNAS!	4,230	0,2026	0,01805
137	Rör	37,9	0,1071	0,21	4,230	0,0383	0,00341
138	VC13	37,9	0,1071	#SAKNAS!	4,230	0,4107	0,03658
139	Rör	37,9	0,1071	1,81	4,230	0,3378	0,03008
140	KC302	37,9	#SAKNAS!	#SAKNAS!	4,234	3,7600	0,33554
141	Rör	37,9	0,1071	0,47	4,230	0,0872	0,00776
142	Kon	37,9	#SAKNAS!	#SAKNAS!	2,797	0,0775	0,00690
143	IC2	37,9	#SAKNAS!	#SAKNAS!	2,798	0,0000	0,00000
144	Rör	37,9	0,1317	0,17	2,797	0,0242	0,00094
145	Böj	37,9	0,1317	#SAKNAS!	2,797	0,1381	0,00538
146	Rör	37,9	0,1317	0,30	2,797	0,0441	0,00172
147	Böj	37,9	0,1317	#SAKNAS!	2,797	0,2088	0,00813
148	Rör	37,9	0,1317	0,43	2,797	0,0636	0,00248
149	652 EC9	37,9	#SAKNAS!	#SAKNAS!	2,798	3,6600	0,14262
150	652 EC5	37,9	#SAKNAS!	#SAKNAS!	2,798	5,4900	0,21392
151	Rör	37,9	0,1317	0,25	2,797	0,0359	0,00140
152	Böj	37,9	0,1317	#SAKNAS!	2,797	0,2088	0,00813
153	Rör	37,9	0,1317	0,25	2,797	0,0360	0,00140
154	IC1	37,9	#SAKNAS!	#SAKNAS!	2,798	0,0000	0,00000
155	Kon	-37,9	#SAKNAS!	#SAKNAS!	-2,797	0,0300	0,00267
156	Rör	37,9	0,1071	0,80	4,230	0,1486	0,01323
157	Böj	37,9	0,1071	#SAKNAS!	4,230	0,2026	0,01805

158	Rör	37,9	0,1071	0,21	4,230	0,0383	0,00341
159	VC14	37,9	0,1071	#SAKNAS!	4,230	22,4555	1,99977
160	Rör	37,9	0,1071	0,25	4,230	0,0457	0,00407
161	Böj	37,9	0,1071	#SAKNAS!	4,230	0,2026	0,01805
162	Rör	37,9	0,1071	1,57	4,230	0,2921	0,02601
163	Böj	37,9	0,1071	#SAKNAS!	4,230	0,2026	0,01805
164	Rör	37,9	0,1071	1,15	4,230	0,2146	0,01911
165	Böj	37,9	0,1071	#SAKNAS!	4,230	0,2026	0,01805
166	Rör	37,9	0,1071	4,32	4,230	0,8068	0,07185
167	Böj	37,9	0,1071	#SAKNAS!	4,230	0,2026	0,01805
168	Rör	37,9	0,1071	8,52	4,230	1,5899	0,14159
169	Kon	37,9	#SAKNAS!	#SAKNAS!	1,912	0,1866	0,01662
170	Rör	37,9	0,1593	0,20	1,912	0,0236	0,00043
171	T-stycke	-37,9	#SAKNAS!	#SAKNAS!	-1,912	#SAKNAS!	#SAKNAS!
172	Rör	42,4	0,1593	1,28	2,137	0,1500	0,00341
173	Böj	42,4	0,1593	#SAKNAS!	2,137	0,2111	0,00480
174	Rör	42,4	0,1593	4,80	2,137	0,5626	0,01279
175	Böj	42,4	0,1593	#SAKNAS!	2,137	0,2111	0,00480
176	Rör	42,4	0,1593	2,67	2,137	0,3129	0,00711
177	Böj	42,4	0,1593	#SAKNAS!	2,137	0,1026	0,00233
178	Rör	42,4	0,1593	0,56	2,137	0,0658	0,00149
179	Böj	42,4	0,1593	#SAKNAS!	2,137	0,2111	0,00480
180	Rör	42,4	0,1593	0,95	2,137	0,1110	0,00252
181	Böj	42,4	0,1593	#SAKNAS!	2,137	0,2111	0,00480
182	Rör	42,4	0,1593	0,40	2,137	0,0465	0,00106
183	Rör	4,5	0,0545	0,31	1,924	0,1394	0,00257
184	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,8168	0,01506
185	Rör	4,5	0,0545	0,23	1,924	0,1016	0,00187
186	VC15	4,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	1,927	1,7460	0,03228
187	Rör	4,5	0,0545	1,15	1,924	0,5171	0,00953
188	KC303	4,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	1,927	7,5300	0,13923
189	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,8168	0,01506
190	Rör	4,5	0,0545	2,53	1,924	1,1366	0,02095
191	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,8168	0,01506
192	Rör	4,5	0,0545	1,26	1,924	0,5665	0,01044
193	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,8168	0,01506
194	Rör	4,5	0,0545	2,20	1,924	0,9892	0,01823
195	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,8168	0,01506
196	Rör	4,5	0,0545	2,25	1,924	1,0099	0,01862
197	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,8168	0,01506
198	Rör	4,5	0,0545	1,80	1,924	0,8107	0,01494
199	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,1764	0,00325
200	Rör	4,5	0,0545	0,40	1,924	0,1798	0,00332
201	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,1764	0,00325
202	Rör	4,5	0,0545	0,02	1,924	0,0090	0,00017
203	327 EC1	4,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	1,927	60,6500	1,12139
204	Rör	4,5	0,0545	0,02	1,924	0,0090	0,00017
205	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,1764	0,00325
206	Rör	4,5	0,0545	0,40	1,924	0,1798	0,00332
207	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,1764	0,00325
208	Rör	4,5	0,0545	1,24	1,924	0,5584	0,01029
209	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,8168	0,01506
210	Rör	4,5	0,0545	0,50	1,924	0,2230	0,00411
211	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,8168	0,01506

212	Rör	4,5	0,0545	6,93	1,924	3,1136	0,05740
213	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,8168	0,01506
214	Rör	4,5	0,0545	1,59	1,924	0,7135	0,01315
215	KC305	4,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	1,927	0,0000	0,00000
216	Rör	4,5	0,0545	1,59	1,924	0,7140	0,01316
217	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,8168	0,01506
218	Rör	4,5	0,0545	0,98	1,924	0,4384	0,00808
219	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,8168	0,01506
220	Rör	4,5	0,0545	1,49	1,924	0,6717	0,01238
221	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,8168	0,01506
222	Rör	4,5	0,0545	0,91	1,924	0,4078	0,00752
	727						
223	EC10	4,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	1,927	12,1300	0,22428
224	Rör	4,5	0,0545	0,91	1,924	0,4078	0,00752
225	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,8168	0,01506
226	Rör	4,5	0,0545	0,70	1,924	0,3156	0,00582
227	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,8168	0,01506
228	Rör	4,5	0,0545	0,81	1,924	0,3633	0,00670
229	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,8168	0,01506
230	Rör	4,5	0,0545	3,18	1,924	1,4276	0,02632
231	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,8168	0,01506
232	Rör	4,5	0,0545	4,48	1,924	2,0121	0,03709
233	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,8168	0,01506
234	Rör	4,5	0,0545	1,26	1,924	0,5665	0,01044
235	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,8168	0,01506
236	Rör	4,5	0,0545	2,89	1,924	1,3012	0,02399
237	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,8168	0,01506
238	Rör	4,5	0,0545	1,71	1,924	0,7689	0,01417
239	VC16	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	76,6352	1,41273
240	Rör	4,5	0,0545	0,65	1,924	0,2923	0,00539
241	Böj	4,5	0,0545	#SAKNAS!	1,924	0,8168	0,01506
242	Rör	4,5	0,0545	0,31	1,924	0,1394	0,00257

Tabell 25: Resultat från simuleringen av system 721 efter flödesbalanseringen.

Komponent	Typ	Flöde (kg/s)	Diameter (m)	Längd (m)	Hastighet (m/s)	K	Tryckfall (bar)
1	PC1	147,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	#SAKNAS!	#SAKNAS!	#SAKNAS!
2	Rör	147,5	0,2073	0,47	4,391	0,0391	0,0037
3	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1798	0,0173
4	Rör	147,5	0,2073	0,31	4,391	0,0252	0,0024
5	VC3	147,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	4,391	#SAKNAS!	#SAKNAS!
6	Rör	147,5	0,2073	0,95	4,391	0,0784	0,0075
7	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1798	0,0173
8	Rör	147,5	0,2073	0,37	4,391	0,0303	0,0029
9	VC4	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,3589	0,0344
10	Rör	147,5	0,2073	5,50	4,391	0,4541	0,0436
11	KC301	147,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	4,391	#SAKNAS!	#SAKNAS!
12	Rör	147,5	0,2073	2,45	4,391	0,2024	0,0194
13	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1817	0,0174
14	Rör	147,5	0,2073	5,11	4,391	0,4222	0,0405
15	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,0592	0,0057
16	Rör	147,5	0,2073	0,90	4,391	0,0743	0,0071
17	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,0592	0,0057
18	Rör	147,5	0,2073	5,02	4,391	0,4145	0,0398
19	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1798	0,0173
20	Rör	147,5	0,2073	1,04	4,391	0,0860	0,0083
21	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1798	0,0173
22	Rör	147,5	0,2073	4,60	4,391	0,3798	0,0364
23	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1798	0,0173
24	Rör	147,5	0,2073	1,05	4,391	0,0867	0,0083
25	DL	147,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	4,391	#SAKNAS!	#SAKNAS!
26	Rör	147,5	0,2073	2,70	4,391	0,2229	0,0214
27	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1808	0,0173
28	Rör	147,5	0,2073	8,50	4,391	0,7018	0,0673
29	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,0592	0,0057
30	Rör	147,5	0,2073	26,60	4,391	2,1964	0,2108
31	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1798	0,0173
32	Rör	147,5	0,2073	1,47	4,391	0,1210	0,0116
33	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1798	0,0173
34	Rör	147,5	0,2073	4,90	4,391	0,4045	0,0388
35	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1808	0,0173
36	Rör	147,5	0,2073	0,48	4,391	0,0399	0,0038
37	T-stycke	-147,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	-4,391	#SAKNAS!	#SAKNAS!
38	Rör	110,1	0,2073	1,00	3,275	0,0832	0,0044
39	VC5	110,1	0,2073	#SAKNAS!	3,275	0,3589	0,0192
40	Rör	110,1	0,2073	2,00	3,275	0,1666	0,0089
41	Böj	110,1	0,2073	#SAKNAS!	3,275	0,1865	0,0100
42	Rör	110,1	0,2073	5,05	3,275	0,4207	0,0225
43	Böj	110,1	0,2073	#SAKNAS!	3,275	0,1865	0,0100
44	Rör	110,1	0,2073	10,98	3,275	0,9148	0,0488
45	Böj	110,1	0,2073	#SAKNAS!	3,275	0,1855	0,0099
46	Rör	110,1	0,2073	0,94	3,275	0,0786	0,0042
47	Böj	110,1	0,2073	#SAKNAS!	3,275	0,1855	0,0099
48	Rör	110,1	0,2073	2,35	3,275	0,1958	0,0105
49	322 EC1	110,1	#SAKNAS!	#SAKNAS!	3,275	#SAKNAS!	#SAKNAS!

50	Rör	110,1	0,2073	2,35	3,275	0,1958	0,0105
51	Böj	110,1	0,2073	#SAKNAS!	3,275	0,1865	0,0100
52	Rör	110,1	0,2073	10,98	3,275	0,9148	0,0488
53	Böj	110,1	0,2073	#SAKNAS!	3,275	0,1865	0,0100
54	Rör	110,1	0,2073	5,05	3,275	0,4207	0,0225
55	Böj	110,1	0,2073	#SAKNAS!	3,275	0,1865	0,0100
56	Rör	110,1	0,2073	1,30	3,275	0,1083	0,0058
57	VC6	110,1	0,2073	#SAKNAS!	3,275	61,3293	3,2740
58	Rör	110,1	0,2073	1,70	3,275	0,1415	0,0076
59	T-stycke	-110,1	#SAKNAS!	#SAKNAS!	-3,275	#SAKNAS!	#SAKNAS!
60	Rör	147,5	0,2073	0,48	4,391	0,0399	0,0038
61	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1808	0,0173
62	Rör	147,5	0,2073	5,30	4,391	0,4376	0,0420
63	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1798	0,0173
64	Rör	147,5	0,2073	2,04	4,391	0,1683	0,0162
65	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1798	0,0173
66	Rör	147,5	0,2073	26,60	4,391	2,1964	0,2108
67	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,0592	0,0057
68	Rör	147,5	0,2073	0,40	4,391	0,0330	0,0032
69	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,0592	0,0057
70	Rör	147,5	0,2073	8,00	4,391	0,6605	0,0634
71	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1808	0,0173
72	Rör	147,5	0,2073	1,45	4,391	0,1197	0,0115
73	DL	147,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	4,391	#SAKNAS!	#SAKNAS!
74	Rör	147,5	0,2073	2,10	4,391	0,1734	0,0166
75	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1808	0,0173
76	Rör	147,5	0,2073	4,70	4,391	0,3880	0,0372
77	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1808	0,0173
78	Rör	147,5	0,2073	1,05	4,391	0,0864	0,0083
79	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1798	0,0173
80	Rör	147,5	0,2073	4,55	4,391	0,3754	0,0360
81	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,0592	0,0057
82	Rör	147,5	0,2073	1,10	4,391	0,0908	0,0087
83	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1808	0,0173
84	Rör	147,5	0,2073	5,52	4,391	0,4559	0,0438
85	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1817	0,0174
86	Rör	147,5	0,2073	17,90	4,391	1,4778	0,1418
87	DL	147,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	4,391	#SAKNAS!	#SAKNAS!
88	Rör	147,5	0,2073	1,35	4,391	0,1115	0,0107
89	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1808	0,0173
90	Rör	147,5	0,2073	1,45	4,391	0,1197	0,0115
91	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1808	0,0173
92	0	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,3589	0,0344
93	Rör	147,5	0,2073	0,27	4,391	0,0226	0,0022
94	0	147,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	4,391	#SAKNAS!	#SAKNAS!
95	Rör	147,5	0,2073	1,44	4,391	0,1188	0,0114
96	721 EC1	147,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	4,391	#SAKNAS!	#SAKNAS!
97	Rör	147,5	0,2073	1,44	4,391	0,1188	0,0114
98	KC501	147,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	4,391	#SAKNAS!	#SAKNAS!
99	Rör	147,5	0,2073	0,71	4,391	0,0587	0,0056
100	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1808	0,0173
101	Rör	147,5	0,2073	1,45	4,391	0,1197	0,0115
102	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1808	0,0173
103	Rör	147,5	0,2073	8,31	4,391	0,6857	0,0658

104	CC1	147,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	4,391	#SAKNAS!	#SAKNAS!
105	Rör	147,5	0,2073	0,83	4,391	0,0685	0,0066
106	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1808	0,0173
107	Rör	147,5	0,2073	0,37	4,391	0,0303	0,0029
108	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1808	0,0173
109	VC2	147,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	4,391	#SAKNAS!	#SAKNAS!
110	Rör	147,5	0,2073	1,27	4,391	0,1044	0,0100
111	Böj	147,5	0,2073	#SAKNAS!	4,391	0,1808	0,0173
112	Rör	147,5	0,2073	0,89	4,391	0,0736	0,0071
113	Rör	37,5	0,1593	0,77	1,889	0,0904	0,0016
114	Böj	37,5	0,1593	#SAKNAS!	1,889	0,2153	0,0038
115	Rör	37,5	0,1593	3,07	1,889	0,3617	0,0064
116	Böj	37,5	0,1593	#SAKNAS!	1,889	0,2153	0,0038
117	Rör	37,5	0,1593	4,80	1,889	0,5660	0,0101
118	Böj	37,5	0,1593	#SAKNAS!	1,889	0,2153	0,0038
119	Rör	37,5	0,1593	1,28	1,889	0,1509	0,0027
120	T-stycke	-37,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	-1,889	#SAKNAS!	#SAKNAS!
121	Rör	32,5	0,1593	0,20	1,637	0,0238	0,0003
122	Kon	-32,5	#SAKNAS!	0,10	-1,637	#SAKNAS!	#SAKNAS!
123	Rör	32,5	0,1071	8,22	3,622	1,5412	0,1007
124	Böj	32,5	0,1071	#SAKNAS!	3,622	0,2078	0,0136
125	Rör	32,5	0,1071	4,32	3,622	0,8097	0,0529
126	Böj	32,5	0,1071	#SAKNAS!	3,622	0,2078	0,0136
127	Rör	32,5	0,1071	0,60	3,622	0,1125	0,0073
128	Böj	32,5	0,1071	#SAKNAS!	3,622	0,2078	0,0136
129	Rör	32,5	0,1071	1,15	3,622	0,2156	0,0141
130	Böj	32,5	0,1071	#SAKNAS!	3,622	0,2078	0,0136
131	Rör	32,5	0,1071	1,04	3,622	0,1956	0,0128
132	Böj	32,5	0,1071	#SAKNAS!	3,622	0,2078	0,0136
133	Rör	32,5	0,1071	0,51	3,622	0,0947	0,0062
134	Böj	32,5	0,1071	#SAKNAS!	3,622	0,2078	0,0136
135	Rör	32,5	0,1071	2,33	3,622	0,4367	0,0285
136	Böj	32,5	0,1071	#SAKNAS!	3,622	0,2078	0,0136
137	Rör	32,5	0,1071	0,21	3,622	0,0384	0,0025
138	VC13	32,5	0,1071	#SAKNAS!	3,622	0,4107	0,0268
139	Rör	32,5	0,1071	1,81	3,622	0,3394	0,0222
140	KC302	32,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	3,626	#SAKNAS!	#SAKNAS!
141	Rör	32,5	0,1071	0,47	3,622	0,0876	0,0057
142	Kon	32,5	#SAKNAS!	0,10	2,395	#SAKNAS!	#SAKNAS!
143	IC2	32,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	2,396	#SAKNAS!	#SAKNAS!
144	Rör	32,5	0,1317	0,17	2,395	0,0243	0,0007
145	Böj	32,5	0,1317	#SAKNAS!	2,395	0,1416	0,0040
146	Rör	32,5	0,1317	0,30	2,395	0,0444	0,0013
147	Böj	32,5	0,1317	#SAKNAS!	2,395	0,2141	0,0061
148	Rör	32,5	0,1317	0,43	2,395	0,0640	0,0018
149	652 EC9	32,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	2,396	#SAKNAS!	#SAKNAS!
150	652 EC5	32,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	2,396	#SAKNAS!	#SAKNAS!
151	Rör	32,5	0,1317	0,25	2,395	0,0361	0,0010
152	Böj	32,5	0,1317	#SAKNAS!	2,395	0,2141	0,0061
153	Rör	32,5	0,1317	0,25	2,395	0,0363	0,0010
154	IC1	32,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	2,396	#SAKNAS!	#SAKNAS!
155	Kon	-32,5	#SAKNAS!	0,10	-2,395	#SAKNAS!	#SAKNAS!
156	Rör	32,5	0,1071	0,80	3,622	0,1493	0,0097
157	Böj	32,5	0,1071	#SAKNAS!	3,622	0,2078	0,0136

158	Rör	32,5	0,1071	0,21	3,622	0,0384	0,0025
159	VC14	32,5	0,1071	#SAKNAS!	3,622	39,9686	2,6109
160	Rör	32,5	0,1071	0,25	3,622	0,0459	0,0030
161	Böj	32,5	0,1071	#SAKNAS!	3,622	0,2078	0,0136
162	Rör	32,5	0,1071	1,57	3,622	0,2935	0,0192
163	Böj	32,5	0,1071	#SAKNAS!	3,622	0,2078	0,0136
164	Rör	32,5	0,1071	1,15	3,622	0,2156	0,0141
165	Böj	32,5	0,1071	#SAKNAS!	3,622	0,2078	0,0136
166	Rör	32,5	0,1071	4,32	3,622	0,8106	0,0530
167	Böj	32,5	0,1071	#SAKNAS!	3,622	0,2078	0,0136
168	Rör	32,5	0,1071	8,52	3,622	1,5974	0,1043
169	Kon	32,5	#SAKNAS!	0,10	1,637	#SAKNAS!	#SAKNAS!
170	Rör	32,5	0,1593	0,20	1,637	0,0238	0,0003
171	T-stycke	-32,5	#SAKNAS!	#SAKNAS!	-1,637	#SAKNAS!	#SAKNAS!
172	Rör	37,5	0,1593	1,28	1,889	0,1509	0,0027
173	Böj	37,5	0,1593	#SAKNAS!	1,889	0,2153	0,0038
174	Rör	37,5	0,1593	4,80	1,889	0,5660	0,0101
175	Böj	37,5	0,1593	#SAKNAS!	1,889	0,2153	0,0038
176	Rör	37,5	0,1593	2,67	1,889	0,3149	0,0056
177	Böj	37,5	0,1593	#SAKNAS!	1,889	0,1047	0,0019
178	Rör	37,5	0,1593	0,56	1,889	0,0662	0,0012
179	Böj	37,5	0,1593	#SAKNAS!	1,889	0,2153	0,0038
180	Rör	37,5	0,1593	0,95	1,889	0,1117	0,0020
181	Böj	37,5	0,1593	#SAKNAS!	1,889	0,2153	0,0038
182	Rör	37,5	0,1593	0,40	1,889	0,0468	0,0008
183	Rör	5,0	0,0545	0,31	2,154	0,1385	0,0032
184	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,8026	0,0185
185	Rör	5,0	0,0545	0,23	2,154	0,1010	0,0023
186	VC15	5,0	#SAKNAS!	#SAKNAS!	2,157	#SAKNAS!	#SAKNAS!
187	Rör	5,0	0,0545	1,15	2,154	0,5138	0,0119
188	KC303	5,0	#SAKNAS!	#SAKNAS!	2,157	#SAKNAS!	#SAKNAS!
189	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,8026	0,0185
190	Rör	5,0	0,0545	2,53	2,154	1,1296	0,0261
191	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,8026	0,0185
192	Rör	5,0	0,0545	1,26	2,154	0,5630	0,0130
193	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,8026	0,0185
194	Rör	5,0	0,0545	2,20	2,154	0,9830	0,0227
195	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,8026	0,0185
196	Rör	5,0	0,0545	2,25	2,154	1,0036	0,0232
197	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,8026	0,0185
198	Rör	5,0	0,0545	1,80	2,154	0,8056	0,0186
199	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,1733	0,0040
200	Rör	5,0	0,0545	0,40	2,154	0,1787	0,0041
201	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,1733	0,0040
202	Rör	5,0	0,0545	0,02	2,154	0,0089	0,0002
203	327 EC1	5,0	#SAKNAS!	#SAKNAS!	2,157	#SAKNAS!	#SAKNAS!
204	Rör	5,0	0,0545	0,02	2,154	0,0089	0,0002
205	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,1733	0,0040
206	Rör	5,0	0,0545	0,40	2,154	0,1787	0,0041
207	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,1733	0,0040
208	Rör	5,0	0,0545	1,24	2,154	0,5549	0,0128
209	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,8026	0,0185
210	Rör	5,0	0,0545	0,50	2,154	0,2216	0,0051
211	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,8026	0,0185

212	Rör	5,0	0,0545	6,93	2,154	3,0942	0,0715
213	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,8026	0,0185
214	Rör	5,0	0,0545	1,59	2,154	0,7091	0,0164
215	KC305	5,0	#SAKNAS!	#SAKNAS!	2,157	#SAKNAS!	#SAKNAS!
216	Rör	5,0	0,0545	1,59	2,154	0,7095	0,0164
217	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,8026	0,0185
218	Rör	5,0	0,0545	0,98	2,154	0,4356	0,0101
219	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,8026	0,0185
220	Rör	5,0	0,0545	1,49	2,154	0,6675	0,0154
221	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,8026	0,0185
222	Rör	5,0	0,0545	0,91	2,154	0,4053	0,0094
	727						
223	EC10	5,0	#SAKNAS!	#SAKNAS!	2,157	#SAKNAS!	#SAKNAS!
224	Rör	5,0	0,0545	0,91	2,154	0,4053	0,0094
225	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,8026	0,0185
226	Rör	5,0	0,0545	0,70	2,154	0,3137	0,0072
227	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,8026	0,0185
228	Rör	5,0	0,0545	0,81	2,154	0,3610	0,0083
229	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,8026	0,0185
230	Rör	5,0	0,0545	3,18	2,154	1,4186	0,0328
231	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,8026	0,0185
232	Rör	5,0	0,0545	4,48	2,154	1,9995	0,0462
233	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,8026	0,0185
234	Rör	5,0	0,0545	1,26	2,154	0,5630	0,0130
235	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,8026	0,0185
236	Rör	5,0	0,0545	2,89	2,154	1,2931	0,0299
237	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,8026	0,0185
238	Rör	5,0	0,0545	1,71	2,154	0,7641	0,0177
239	VC16	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	45,1445	1,0431
240	Rör	5,0	0,0545	0,65	2,154	0,2904	0,0067
241	Böj	5,0	0,0545	#SAKNAS!	2,154	0,8026	0,0185
242	Rör	5,0	0,0545	0,31	2,154	0,1385	0,0032

Bilaga 2: Förutsättningar och resultat från simulering av system 712

System 712

I denna bilaga presenteras resultaten från simuleringen av system 712. Inledningsvis beskrivs systemets funktion. Därefter presenteras förutsättningar samt resultat från simuleringarna. En lista med beteckningar för samtliga berörda systemnummer finns i bilaga 3.

Allmän beskrivning

System 712 består av fyra av varandra oberoende kretsar som hämtar kylvatten (havsvatten) från vattenkanalerna i rensverket. Systemet ingår i ett antal kylkedjor som hjälper till att kyla reaktorn eller hjälpsystem till reaktorn. Huvudsakligen kyler system 712 mellankylsystemet 721 som sedan i sin tur kyler de olika kretsarna. Efter att kylvattnet tagits från vattenkanalerna så passerar det först genom ett musselfilter som fångar upp eventuella föroreningar i vattnet innan det kyler värmeväxlaren i system 721. Efter att vattnet passerat genom värmeväxlaren förs det sedan ut till utloppskanalen. I krets B och C är utloppsledningarna försedda med avgreningsledningar till alternativa utloppskulvertar för att möjliggöra tömning av en kulvert under drift [13].

Varje krets i systemet har dessutom en lyra som sitter placerad efter respektive värmeväxlare från system 721. Dessa förhindrar att systemet töms på vatten när en pump stoppas. Att större delen av systemet och värmeväxlarna hålls vattenfyllda bidrar till att minska riskerna för korrosion samt att det ger en mjukare start när systemet sedan startar [13].

Huvudpumparna i systemet är vertikala våtuppställda centrifugalpumpar med torr motor. Pumparna är dieselsäkrade och påverkas därför inte av ett bortfall av det ordinarie nätet [13].

För att kontrollera trycket i systemet finns det tryckmätstutsar efter varje pump samt både före och efter respektive värmeväxlare. Musselfiltret är försett med tryckdifferensmätning vilket vid ett högt tryckfall automatiskt initierar en backspolning [13].

För kylkedjan 322-721-712 beräknas kylkapaciteten kontinuerligt. För att kunna göra detta konditionsövervakas systemet genom flödesmätning, central indikering av in- och utgående vattentemperaturer samt differenstryckmätning [13].

1. Direkt anslutna system

Systemen som är direkt anslutna till system 712 är:

- 112 Kylvattenkanaler
- 713 Kylvattensystem för prioriterade behov
- 714 Kylvattensystem för oprioriterade behov
- 721 Mellankylsystem för avställd reaktor

2. System 712:s huvudsakliga kylkedjor:

- Kondensationsbassängen kyles via system 322-721-712

- Resteffekten och reaktortankens värme bortföres via system 321-721-712 då reaktorn ställs av till kall reaktor samt under bränslebyte. Här kylv även 321 PA2 via 721-712.
- Pumpmotorerna i systemen 322, 323 och 327 kylv via systemen 727, 721 och 712 när de är i drift.
- Reservkraftsanläggningen kylv via kylkedjan 652-721-712.

3. Kylning via 721-712 kan även ske på vissa system när deras normala kylkedja är satt ur funktion.

- Pumpmotorerna PB1 och PD1 i system 321 som normalt är kylda via kylkedja 723-713
- Värmeväxlarna i system 324:1 som normalt är kylda av 723-713
- Värmeväxlaren i system 324:2 som normalt är kyld av kylkedja 724-714

Systemets funktion

Normala anläggningsdriftfall

Normal drift

Vid normal drift är en krets i system 322 i drift för att kyla atmosfären i reaktorinneslutningens sekundärutrymme. Vid behov är då även motsvarande krets i system 712 via system 721 i drift för att kyla kondensationsbassängen. När man kyler sekundärutrymmets atmosfär kyler man samtidigt kondensationsbassängen. Om temperaturen i kondensationsbassängen understiger 15°C skickas ett larm via system 316 till operatören som sedan manuellt ska stänga av system 712. När temperaturen når upp till 20°C vid en eller flera temperaturvakter så kommer kylkedjorna 322-721-712 att starta för de till vakterna tillhörande kylkedjorna. När temperaturen sedan kylts ned till under 20°C kommer endast en kylkedja att behållas i drift. De övriga kylkedjorna stoppas manuellt [13].

System kommer även att vara i drift vid de återkommande testerna av reservkraftanläggningen och vid test av systemen 322, 323 och 327 för kylning av pumpmotorerna [13].

System 712:s musselfilter backspolas automatiskt inom bestämda tidsintervall eller om indikatorer visar på för högt tryckfall [13].

Avställning till kall reaktor

När en temperaturnedtagning av reaktorn ska ske gör man en manuell omfördelning av 721-kylvattnet till 321-värmeväxlarna samt 321 PA2 och reaktor kylv då av kylkedjan 321-721-712. Kylningen med denna kylkedja startar vid en temperatur på 188°C och fortgår under hela avställningen. När denna process ska startas måste 712-pumparna startas manuellt [13].

Bränslebyte

När ett bränslebyte ska ske efter en avställning till kall reaktor ska reaktorbränslets resteffekt kylas med kylkedjan 321-721-712 till dess att reaktortanklocket är avlyft samt reaktorbassängen är uppfylld. Därefter kommer värmen att bortföras tillsammans med kylkedjorna 324:1-723-713 och 324:2-724-714 [13].

Förutsättningar

Förutsättningarna för modellen i Flowmaster är definierade efter de befintliga beräkningsförutsättningarna som användes vid handberäkningarna med Excel-programmet. Följande förutsättningar gäller för modelleringen i Flowmaster.

- Flödet över 712 värmeväxlaren ska vara 175 kg/s [6]
- Flödet i kretsen regleras huvudsakligen via strypventil VX4
- Ytråheten är antagen till 0,10 mm

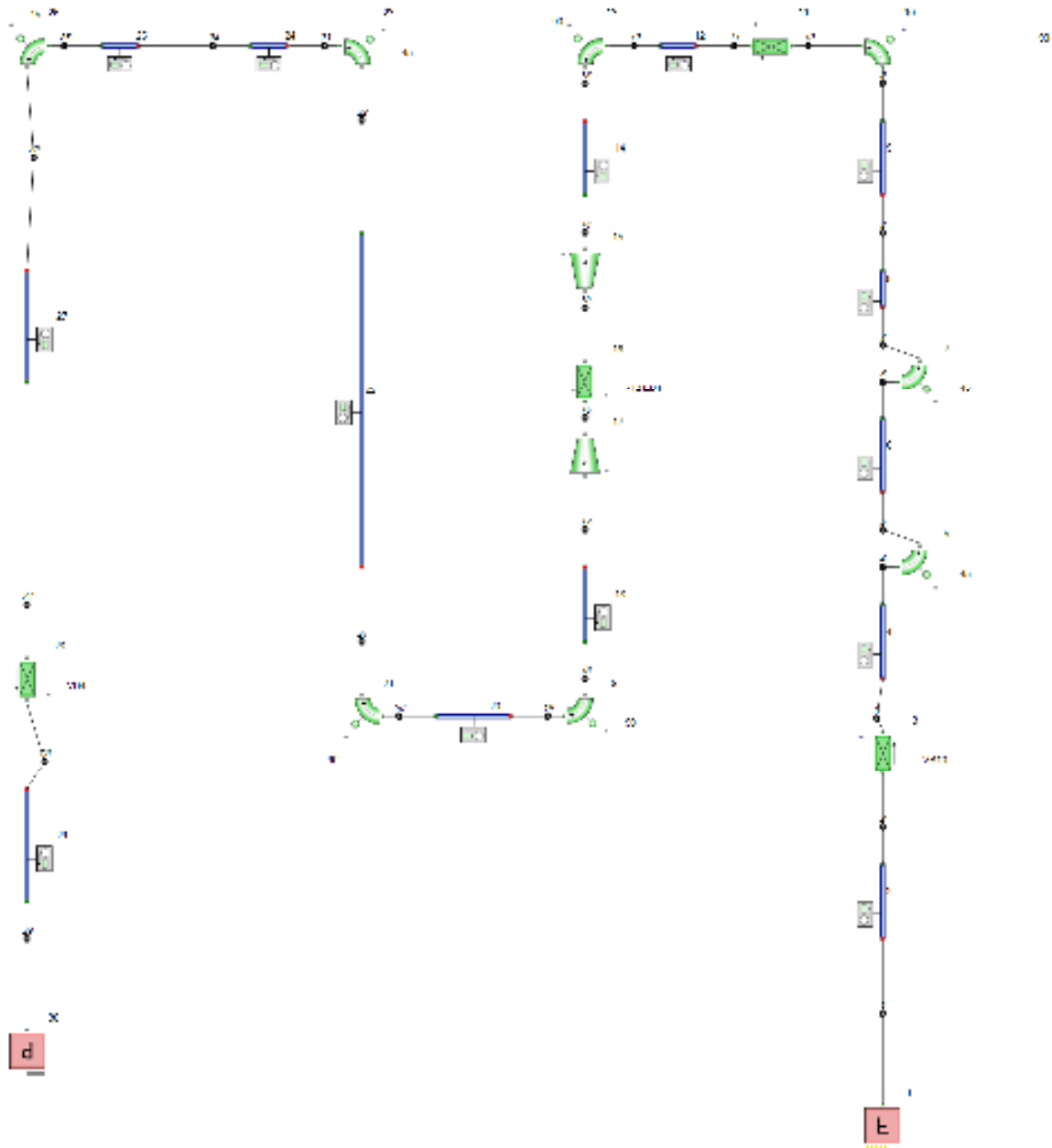
Förenklingar

I det modellerade systemet i Flowmaster har förenklingar gjorts.

- 712 värmeväxlaren kommer att modelleras som ett engångsmotstånd
- Samtliga backventiler och strypningar kommer att modelleras som engångsmotstånd
- Systemet har modellerats utan pump och med ett specificerat flöde istället

Resultat

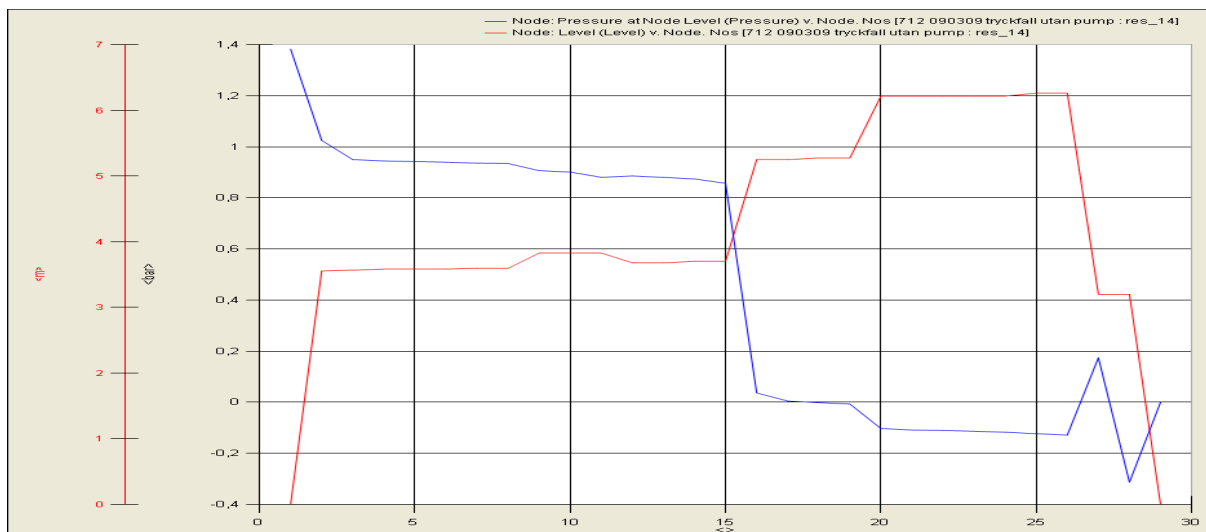
I beräkningen av system 712 har systemet modellerats med en "Flow source"-komponent istället för med en pump vilket innebär att det flöde som ska gå genom systemet specifikt anges vid systemet inlopp istället för att modelleras med en pumpkurva.



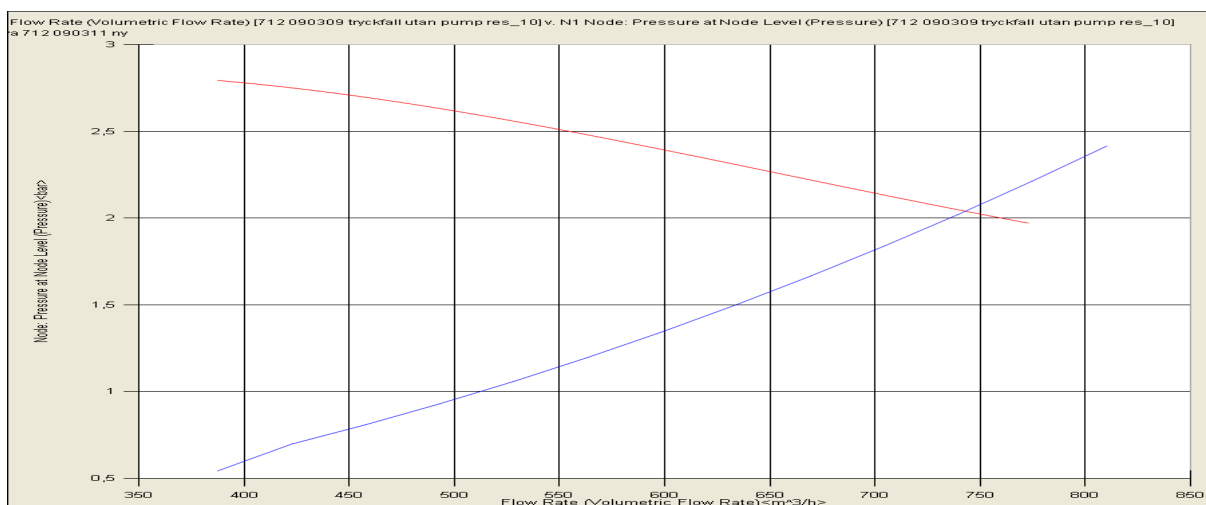
Figur 43: Figuren visar modellen av system 712 i Flowmaster.

Tryckfall och systemkurva

Nedan visas resultaten från tryckfallsberäkningen i system 712.



Figur 44: Figuren visar det absoluta trycket (blå) samt höjdnivån (röd). Ur grafen avläses att det totala tryckfallet i system 712 är 1,38 bar. Detta tryckfall uppnås när ett flöde på 175 kg/s går genom systemet.



Figur 45: Figuren visar systemkurvan (blå) plottad mot pumpkurvan (röd). Driftpunkten ges vid flödet 204,6 kg/s och tryckfallet 2,07 bar.

Resultat: Resultatet visar att med befintligt pump-hjul kommer driftpunkten ligga vid 204,6 kg/s vilket är högre än angivna 175 kg/s som angivits i specifikationerna. Ett troligt skäl till detta är att de ursprungliga beräkningarna genomförts med ett musselfilter som sedan aldrig installerats [6]. Resultatet stämmer dock relativt bra överens med tryckfallsberäkningarna genomförda av WSE för system 712 där driftpunkten beräknats till 209 kg/s.

Resultat i tabellform

Tabell 26: Resultat från simuleringen av system 712 i tabellform.

Komponent	Typ	Flöde (kg/s)	Diameter (m)	Längd (m)	Hastighet (m/s)	K	Tryckfall (bar)
1	FS	#SAKNAS!	#SAKNAS!	#SAKNAS!	#SAKNAS!	#SAKNAS!	#SAKNAS!
2	Rör	175,0	0,3007	0,473	2,411	0,0254	0,000753
3	VB10	175,0	#SAKNAS!	#SAKNAS!	2,411	2,5000	0,074261
4	Rör	175,0	0,3007	2,067	2,411	0,1109	0,003294
5	Böj	175,0	0,3007	#SAKNAS!	2,411	0,0900	0,002672
6	Rör	175,0	0,3007	1,45	2,411	0,0778	0,002311
7	Böj	175,0	0,3007	#SAKNAS!	2,411	0,0900	0,002672
8	Rör	175,0	0,3007	0,90	2,411	0,0483	0,001434
9	Rör	175,0	0,3007	2,85	2,411	0,1529	0,004542
10	Böj	175,0	0,3007	#SAKNAS!	2,411	0,1851	0,005498
11	KB301	175,0	#SAKNAS!	#SAKNAS!	2,411	0,6900	0,020496
12	Rör	175,0	0,3007	6,13	2,411	0,3289	0,009770
13	Böj	175,0	0,3007	#SAKNAS!	2,411	0,1851	0,005498
14	Rör	175,0	0,3007	2,45	2,411	0,1315	0,003905
15	Kon	-175,0	#SAKNAS!	0,10	-2,411	0,1300	0,017096
16	712 EB1	175,0	#SAKNAS!	#SAKNAS!	2,411	22,4000	0,665304
17	Kon	175,0	#SAKNAS!	0,10	2,411	0,2393	0,031464
18	Rör	175,0	0,3007	2,45	2,411	0,1315	0,003905
19	Böj	175,0	0,3007	#SAKNAS!	2,411	0,1851	0,005498
20	Rör	175,0	0,3007	0,94	2,411	0,0506	0,001503
21	Böj	175,0	0,3007	#SAKNAS!	2,411	0,1851	0,005498
22	Rör	175,0	0,3007	1,41	2,411	0,0759	0,002254
23	Böj	175,0	0,3007	#SAKNAS!	2,411	0,0900	0,002672
24	Rör	175,0	0,3007	2,45	2,411	0,1315	0,003907
25	Rör	175,0	0,3007	0,67	2,411	0,0362	0,001074
26	Böj	175,0	0,3007	#SAKNAS!	2,411	0,1851	0,005498
27	Rör	175,0	0,3007	2,86	2,411	0,1536	0,004562
28	VB4	175,0	#SAKNAS!	#SAKNAS!	2,411	16,4000	0,487153
29	Rör	175,0	0,3007	5	2,411	0,2683	0,007970
30	PS	#SAKNAS!	#SAKNAS!	#SAKNAS!	#SAKNAS!	#SAKNAS! 45,2777	#SAKNAS! 1,38247

Bilaga 3: Beteckningar för berörda system

Systemnummer	Systemnamn
316	Kondensationssystem
321	Kylsystem för avställd reaktor
322	Sprinklersystem för reaktorinneslutningen
323	Lågtryckshärdkylsystem
324	Kyl- och reningssystem för bränslebassänger
327	Hjälpmatarvattensystem
652	Dieselmotorhjälpssystem
712	Kylvattensystem för avställd reaktor
713	Kylvattensystem för prioriterade behov
714	Kylvattensystem för oprioriterade behov
721	Mellankylsystem för avställd reaktor
722	Mellankylsystem för reaktorns reningskrets
723	Mellankylsystem för prioriterade behov
724	Mellankylsystem för oprioriterade behov
733	Distributionssystem för nytt avsaltat vatten