

# CHALMERS



## Luftinblandning i handduschar – påverkan på avsköljningsförmåga och komfort

Air mixing in hand showers – effect on rinse capability and comfort

*Examensarbete för högskoleingenjörsexamen inom Maskiningenjörsprogrammet*

Maria Larsson

Institutionen för Material- och tillverkningsteknik  
Avdelningen för Avancerad oförstörande provning  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sweden, 2016  
Examinator: Gert Persson Examensarbete No. 149/2016

Luftinblandning i handduschar – påverkan på avsköljningsförmåga och komfort

MARIA LARSSON

© MARIA LARSSON

Examensarbete No. 149/2016

Chalmers tekniska högskola  
Institutionen för Material- och tillverkningsteknik  
*Avdelningen för avancerad oförstörande provning*  
SE-412 96 Göteborg  
Sverige

Telefon: +46 (0)31-772 10 00

Institutionen för Material- och tillverkningsteknik  
*Avdelningen för avancerad oförstörande provning*  
Göteborg, Sverige, juni 2016

## FÖRORD

Detta är ett examensarbete inom maskiningenjörsprogrammet vid Chalmers tekniska högskola i Göteborg. Arbetet har genomförts i samarbete med FM Mattsson Mora Group AB, beläget i Mora, Sverige.

Först och främst vill jag rikta ett stort tack till Bengt Andersson, chef över avdelningen för produktutveckling på FM Mattsson Mora Group AB, som givit mig möjligheten till detta mycket lärorika och spännande projekt. Jag vill även tacka mina båda handledare: Björn Wrahme, produktutvecklingsingenjör på FM Mattsson Mora Group AB, och Gert Persson, docent vid Chalmers tekniska högskola, för god vägledning och stöttning under projektets gång. Ett särskilt tack riktas också till Ernest Lamani, ansvarig för utvecklingslaboratoriet på FM Mattsson Mora Group AB, som alltid ställt upp vid mätningar och behov av diskussion. Avslutningsvis vill jag tacka alla trevliga kollegor på FM Mattsson Mora Group AB som visat intresse och engagemang för mitt projekt, samt gjort det till ett nöje att gå till jobbet varje dag.

Maria Larsson, Göteborg, juni 2016

## SAMMANFATTNING

FM Mattsson Mora Group AB är ett svenskt företag beläget i Mora. Företaget utvecklar och tillverkar sanitetsarmatur som vattenkranar, blandare, duschar och tillbehör. En viktig del av arbetet är att se till så att vattenförbrukningen hos konsumenterna minskas utan att produkternas prestanda försämras. Det här projektet fokuserar på handduschar och användningen av luftinblandning för att spara vatten.

Genom att blanda luft med vattnet kan en lägre flödesmängd användas utan att komforten försämras. Detta påstående undersöks i det här projektet, liksom hur tekniken fungerar och om den påverkar handduschens prestanda i form av dess avsköljningsförmåga. Undersökningen har genomförts både genom en kvalitativ användarundersökning och genom mätningar i laboriemiljö. I användarundersökningen deltog femton personer fördelade så att ungefär hälften av Sveriges befolkning representerades gällande ålder och kön. Slutsatsen av denna är att god komfort kan erhållas vid låga flöden om luftinblandningen är väl utformad och tillämpas på rätt sätt. Alla duschmunstycken i testet uppskattades inte av användarna trots att de hade luftinblandning. Viktigast för att erhålla god komfort även vid låga flöden är att bibehålla upplevelsen av tillräckligt tryck och flöde.

Mätningarna i laboriet visade att luftinblandningen inte påverkar avsköljningsförmågan. Det finns olika metoder för att blanda in luft med vattnet. Här utvärderas duschmunstycken där luftinblandningen antingen sker med hjälp av en modul i nederdelen på duschhandtaget eller direkt i silen. De olika luftinblandningsteknikerna resulterar i olika egenskaper hos duschmunstyckena. Strålbilden och ljudet påverkas särskilt av luftinblandningen. Dessa parametrar, liksom luftinblandningen, påverkas också av själva duschmunstyckets utformning. Det är därför av största vikt att duschmunstycket och luftinblandningen utvecklas tillsammans.

Vidare söktes förståelse för vad det är som driver luftinblandningen. Detta gjordes genom att särskilt studera tekniken hos det duschmunstycke som blandade bäst med luft och var mest omtyckt av användarna. En av de viktigaste principerna för att kunna blanda luft med vattnet är att ett lagom stort tryckfall mellan inloppet och sektionen där luftinblandningen sker erhålls. I sektionen där luftinblandningen sker får dessutom inte trycket vara för högt.

Med utgångspunkt i den bästa luftinblandningsmodulen undersöktes också vilka parametervärden som är att föredra. Genom att kombinera de bästa egenskaperna från det bästa respektive sämsta duschmunstycket i användarundersökningen skapades en ny modul. Modulen tillhandahåller en härlig duschupplevelse även vid lägre tryck tack vare en välbalanserad luftinblandning och en mjuk, masserande strålbild.

## ABSTRACT

FM Mattsson Mora Group AB is a Swedish company situated in Mora. This company develops and manufactures sanitary fittings such as water taps, thermostatic mixers, showers, and accessories. One important part of the work done here is to ensure that the customer's water consumption decreases without diminishing the performance of the products. This project focuses on hand showers and the use of air mixing to save water.

By mixing air with the water, a lower flow rate can be used without changing the comfort. This statement is investigated in this project, as well as how the technology works and if it effects the shower's performance when it comes to rinse capability. The research has been carried out both through a qualitative user survey and measurements in the research and development water lab. Fifteen individuals participated in the user survey apportioned so that about half of the Swedish population was represented with respect to gender and age. The conclusion of the user survey is that great comfort can be achieved at low flow rates if the air mixing is well designed and used appropriately. Not all of the hand showers were liked by the users despite their use of air mixing. Most important when attempting to achieve great comfort at low flow rates is to maintain the experience of sufficient pressure and flow rate levels.

The measurements in the research and development water lab showed that the air mixing does not affect the rinse capability. There are different methods to mixing air with the water. In this work, hand showers that mix air either by a module at the inlet of the hand shower or directly at the outlet are examined. The different air mixing techniques results in different performances of the hand showers. The spray pattern and the noise levels are largely effected by the air mixing. These parameters, as well as the air mixing itself, are also effected by the design of the hand shower. It is therefore of utmost importance to develop the air mixing and hand shower in symbiosis.

A greater understanding for the principles behind the air mixing was also attempted to be achieved. This was accomplished by studying the technology of the hand shower with the best air mixing and rating in the user survey. One of the major principles to mixing air with water is obtaining a sufficient but not too high pressure drop between the inlet and the section where the air is mixed. The pressure in the section where the air is mixed must also not be too high.

Using the best air mixing device as a reference point, preferable parameters were examined. After combining the best qualities of the best and the worst hand showers according to the user survey, a new device was created. With a perfect balance of air mixing and a soft yet massaging spray pattern, this new device provides an amazing showering experience even at lower pressure levels.

# INNEHÅLL

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ORDLISTA .....                                                                        | 1  |
| 1 INLEDNING .....                                                                     | 3  |
| 1.1 Bakgrund .....                                                                    | 3  |
| 1.2 Syfte .....                                                                       | 3  |
| 1.3 Avgränsningar .....                                                               | 3  |
| 1.4 Precisering av frågeställningen .....                                             | 3  |
| 2 TEORETISK REFERENSRAM .....                                                         | 5  |
| 2.1 Andra användarundersökningar .....                                                | 5  |
| 2.2 Olika energiklassningsstandarder .....                                            | 5  |
| 2.3 Kvalitativ undersökning som metod .....                                           | 6  |
| 2.4 Utvecklingslaboratoriet .....                                                     | 7  |
| 2.5 Tryckfallsdiagram .....                                                           | 8  |
| 2.6 Metoder för luftinblandning .....                                                 | 9  |
| 3. METOD .....                                                                        | 10 |
| 3.1 Användarundersökning - Kvalitativ undersökning med fenomenografisk inriktning ... | 10 |
| 3.1.1 Genomförande av användarundersökning .....                                      | 11 |
| 3.1.2 Analys av användarundersökning .....                                            | 11 |
| 3.2 Utförande av avsköljningstest – med och utan luftinblandning .....                | 11 |
| 3.2.1 Genomförande av avsköljningstest .....                                          | 12 |
| 3.2.2 Mätning av luftflöde .....                                                      | 13 |
| 3.2.3 Förhindrande av luftflöde .....                                                 | 14 |
| 4. RESULTAT FRÅN DEN INLEDANDE UNDERSÖKNINGEN .....                                   | 15 |
| 4.1 Luftinblandningens påverkan på avsköljningstestet .....                           | 15 |
| 4.2 Testets mest effektiva luftinblandning .....                                      | 17 |
| 4.3 Optimal komfort enligt användarundersökningen .....                               | 18 |
| 4.3.1 Kano-modellen .....                                                             | 20 |
| 4.3.2 Reliabilitet och validitet .....                                                | 21 |
| 4.4 Sammanfattning av resultaten från den inledande undersökningen .....              | 22 |
| 4.4.1 Bästa duschmunstycke avseende avsköljningsförmåga och komfort .....             | 22 |
| 5. PRODUKTUTVECKLING .....                                                            | 24 |
| 5.1 Tekniskt underlag .....                                                           | 24 |
| 5.1.1 Undersökning av befintliga lösningar för luftinblandning .....                  | 24 |
| 5.2 Undersökning av parametervärden .....                                             | 26 |
| 5.2.1 Antal lufthål .....                                                             | 27 |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 5.2.2 Utformning av inlopps- och utloppsvinkel.....              | 27 |
| 5.2.3 Optimal diameter .....                                     | 29 |
| 5.2.4 Tvärsnittets form .....                                    | 29 |
| 5.2.5 Produktionsvariationer .....                               | 29 |
| 5.2.6 Prestationsskillnad med olika duschmunstycken .....        | 30 |
| 5.3 Tryckfallets relation till andelen inblandad luft .....      | 30 |
| 5.4 Slutgiltigt koncept .....                                    | 32 |
| 6. SLUTSATS MED DISKUSSION .....                                 | 34 |
| 7. REFERENSER.....                                               | 37 |
| 7.1 Personreferenser .....                                       | 38 |
| BILAGA 1 – Tryckfallsdiagram för respektive duschmunstycke ..... |    |
| BILAGA 2 – Pugh-matriser .....                                   |    |
| BILAGA 3 – Citat från användarundersökningen .....               |    |
| BILAGA 4 – Tryckfallsdiagram för adapter C4 .....                |    |

## ORDLISTA

|                         |                                                                                                                   |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Adapter                 | konstruktion för luftinblandning som placeras mellan duschslangen och duschmunstycket                             |
| Blandare                | anordning som blandar hetvatten med kallvatten och säkerställer rätt temperatur på duschvattnet                   |
| Börvärde                | önskat värde som systemet ska tillhandahålla                                                                      |
| Duschhandtag            | den del av duschmunstycket som är tänkt att greppas kring. Duschmunstyckets inlopp                                |
| Duschmunstycke          | produkt som monteras på duschslangens utlopp och sprider vattnet. Består av ett handtag och en sil i en komponent |
| Duschslang              | mjuk, flexibel rörledning som förbinder blandaren och duschmunstycket                                             |
| Dynamiskt tryck         | fluidens kinetiska energi                                                                                         |
| Fenomenografi           | inriktning inom den kvalitativa metoden där fokus läggs på respondentens personliga upplevelse                    |
| Handdusch               | blandare, duschslang och duschmunstycke i ett set                                                                 |
| Luftinblandningsmetod   | ett sätt att blanda in luft i vattnet i duschmunstycket                                                           |
| Luftinblandningsprincip | effekten av luftinblandningen                                                                                     |
| Luftinblandningsteknik  | konstruktionen som orsakar luftinblandningen                                                                      |
| Makro                   | automatiserat mätprogram som används vid mätningar i utvecklingslaboratoriet                                      |
| Modul                   | konstruktion för luftinblandning som placeras inuti duschhandtaget, precis i dess inlopp                          |
| Sil                     | den del av duschmunstycket som sprider vattnet. Duschmunstyckets utlopp                                           |
| Släppningar             | turbulens som yttrar sig som små virvlar längs med rörväggen vid en förändring av rördiameten                     |
| Statiskt tryck          | trycket på en partikel i en fluid som rör sig med samma hastighet som fluiden                                     |

|                |                                                                             |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Tryck          | se Statiskt tryck                                                           |
| Vena contracta | minskning av tvärsnittsarean fluiden strömmar genom på grund av släppningar |
| Ärvärde        | det verkliga värde som systemet tillhandahåller                             |

# 1 INLEDNING

## 1.1 Bakgrund

FM Mattsson Mora Group AB är ett svenskt företag beläget i Mora som utvecklar sanitetsarmaturer som till exempel vattenkranar, blandare och duschar. I samma bransch finns andra företag som utvecklat en typ av duschmunstycke med patenterad teknik. Enligt deras marknadsföring gör användning av duschmunstycket att en energibesparing sker med bibehållen duschupplevelse och komfort. Detta sker genom att luft blandas in i vattnet och på så sätt behövs mindre vatten användas. I denna marknadsföring saknas dock dokumentation kring hur avsköljningsförmågan påverkas av luftinblandningen. För att bibehålla och öka sina marknadsandelar är FM Mattsson Mora Group AB intresserade av att ta reda på hur luftinblandningen i handduschar påverkar energiklassingen enligt SS820001:2010, där avsköljningsförmågan är en viktig del.

## 1.2 Syfte

Mot ovan bakgrund önskar FM Mattsson Mora Group AB hjälp med att undersöka hur luftinblandningen i handduschar påverkar resultatet från avsköljningstestet i den svenska energiklassningsstandarden SS820001:2010. Utifrån detta resultat önskas sedan en djupare förståelse för den konstruktion som ger den mest effektiva avsköljningen och samtidigt bibehåller användarens upplevelse av komfort, samt en utveckling av denna.

## 1.3 Avgränsningar

Nedanstående punkter utgör projektets avgränsningar:

- Vattnets olika hårdhet och renhet i världen kommer inte beaktas utan testet utformas efter det vatten som finns i Mora på FM Mattsson Mora Group ABs anläggning.
- Experiment kommer göras med de förutsättningar som finns i FM Mattsson Mora Group AB:s vattenlabb samt med de resurser som Chalmers tekniska högskola kan stå till förfogande med.
- Arbetet begränsas av de mjukvaruprogram som Chalmers tekniska högskola och FM Mattsson Mora Group AB kan tillhandahålla.
- Projektet innefattar endast handhållna duschar.
- Utgångspunkten för projektet är den svenska standarden för energiklassning av handduschar, SS820001:2010 [1].
- Omkonstruktionen kommer inte produceras som en färdig produkt varför utvärdering av dess effektivitet och komfort ligger utanför detta projekt.

## 1.4 Precisering av frågeställningen

De frågor som detta projekt har för avsikt att besvara handlar om luftinblandningens påverkan på avsköljningsförmåga och komfort:

Hur påverkar luftinblandningen resultatet från avsköljningstestet i energiklassningsstandarden SS820001:2010?

Hur kan en optimal konstruktion för luftinblandning utformas som ger den mest effektiva avsköljningen med bibehållen komfort?

Fem stycken olika duschmunstycken med luftinblandning kommer ingå i avsköljningstestet. Parallellt ska en mindre, kvalitativ användarundersökning, med femton deltagare och de duschmunstycken som används vid avsköljningstestet, försöka ge en uppfattning om den mer subjektiva känslan som användaren upplever vid duschning.

## 2 TEORETISK REFERENSRAM

Detta kapitel behandlar forskning och andra studier som gjorts inom området för detta projekt, samt beskriver laboratoriemiljön där alla tester utförts. Likaså förs en diskussion kring den kvalitativa undersökningen som insamlings- och analysmetod av data.

### 2.1 Andra användarundersökningar

Liknande undersökningar som den användarundersökning som genomförs i detta projekt har tidigare genomförts av studenter i Kanada vid University of British Columbia [2], [3]. Skillnaden mellan deras undersökningar och detta projekt är att de studerar munstycken med begränsat flöde men utan luftinblandning. I detta projekt begränsas flödet för att ge jämförbara resultat men det är luftinblandningens effekt som undersöks. Båda dessa undersökningar, [2], [3], använder sig av strukturerade frågeformulär för att samla in sina data och går inte in på djupet i frågan om vilka faktorer som påverkar komforten. Gemensamt för båda dessa rapporter är slutsatsen att för lågt flöde försämrar duschupplevelsen. Således bör luftinblandningens förmåga att kompensera ett lägre flöde vara en viktig parameter för att bibehålla komforten.

Ytterligare liknande undersökningar har genomförts i Asien [4] där komforten har undersökts närmare med avseende på de faktorer som testas i Australiens standard för duschar [5]. Dessa faktorer är flödesmängden, kraften i strålen, kraften i strålen per hål, strålbilden, spridningsvinkeln och temperaturfallet. Slutsatsen är att god komfort kan uppnås även vid låga flöden så länge det kompenseras med andra positiva egenskaper. Den totala kraften i strålen påverkar inte komforten men uppdelad per hål gör den skillnad. När komforten i övrigt upplevdes låg påverkade en högre kraft per hål positivt. Däremot blev upplevelsen den motsatta när komforten redan upplevdes bra. Det indikerar att luftinblandningen inte får vara för stor vid höga tryck och flöden. Strålbilden gjorde också stor inverkan på komforten. Påverkan anses negativ både om strålbilden är för bred och för smal. Övriga faktorer utgjorde ingen större inverkan. Luftinblandning nämns inte i rapporten varför traditionella munstycken antas ha använts. Testen utfördes så att testpersonerna höll i duschmunstycket och vred på vatten tills det träffade bröstet. Utifrån den upplevelsen bedömdes sedan komforten på en sjugradig skala från väldigt missnöjd till mycket nöjd.

Konkurrerande företag har gjort egna undersökningar som nämns i deras marknadsföring men inga resultat avslöjas. Det som går att förstå är att flödesmängden spelar stor roll för komforten och att det finns många olika åsikter om vilken strålbild som ger god komfort [6], [7].

### 2.2 Olika energiklassningsstandarder

Förutom den svenska standarden för energiklassning av handduschar finns det i Europa ytterligare två standarder som används för samma ändamål: Water Efficiency Label och European Water Label [8], [9]. Den förstnämnda, förkortad WELL, är skapad av en intresseorganisation bestående av framförallt tyska företag inom branschen, medan den andra är skapad genom ett samarbete mellan olika branschorganisationer i Europa. Den svenska standarden SS820001:2010 är framtagen av Swedish Standards Institute tillsammans med några av de svenska företagen. European Water Label fokuserar i huvudsak på flödesmängden för att

avgöra energiklassningen [9, s. 6-10]. Flödesmängden är viktig också för WELL och den svenska standarden men dessa beräknar även förväntad energiåtgång [8, s.14-15], [1, s. 12-13]. WELL ger ett högre betyg om duschens blandare är utrustad med ekonomiflöde samt har en låg ljudnivå, på samma sätt som den svenska standarden [8, s. 16-19], [1]. I övrigt är den svenska standarden mer komplex och tar hänsyn till fler parametrar. Dessa är blandvattenstrålens temperaturfall, andel nyttiggjort vatten och avsköljningsförmåga. På grund av den svenska standardens helhetsbild kan den anses utgöra ett bättre mått på produktens verkliga energieffektivitet. Att endast utgå från strypt flöde vid energiklassningen gör att den inte säger så mycket om produktens prestanda, annat än att den förbrukar lite vatten. FM Mattsson Mora Group AB:s främsta marknad är Europa, varför endast europeiska energiklassningsstandarder diskuteras här även om det finns andra ute i världen.

## 2.3 Kvalitativ undersökning som metod

Generellt sett används den kvalitativa metoden inom human- och samhällsvetenskaplig forskning och den kvantitativa metoden inom naturvetenskapen. Det är förståeligt om utgångspunkten är den definition Hansson [10] ger; Den kvantitativa metoden används för att analysera mätbara, numeriska storheter, medan den kvalitativa används för att analysera ord, beskrivningar och sammanhang. Samtidigt är inte distinktionen mellan de två metoderna så entydig. Ofta samverkar de båda metoderna då det krävs ett sammanhang och förståelse för det som ska mätas innan det går att mäta. Hansson [10, s. 54] tydliggör detta med ett exempel. En bok ligger på ett bord. Mätetalet blir 1 om det är antalet böcker som ska mätas. En bok har också ett antal sidor. Om det är vad som ska mätas blir mätetalet högre. På samma sätt blir mätetalet ännu större om det är antalet ord som ska mätas. Alltså samverkar den kvalitativa analysens sammanhang med den kvantitativa metodens mätetal. Detta stämmer väl överens med hur informationen hämtas och bearbetas ur projektets användarundersökning. Den kvalitativa analysen, som är den utmärkande delen, kommer definiera det sammanhang och tolka de beskrivningar, som sedan sammanställs kvantitativt för att ge svar på vilket duschmunstycke som ger bäst komfort.

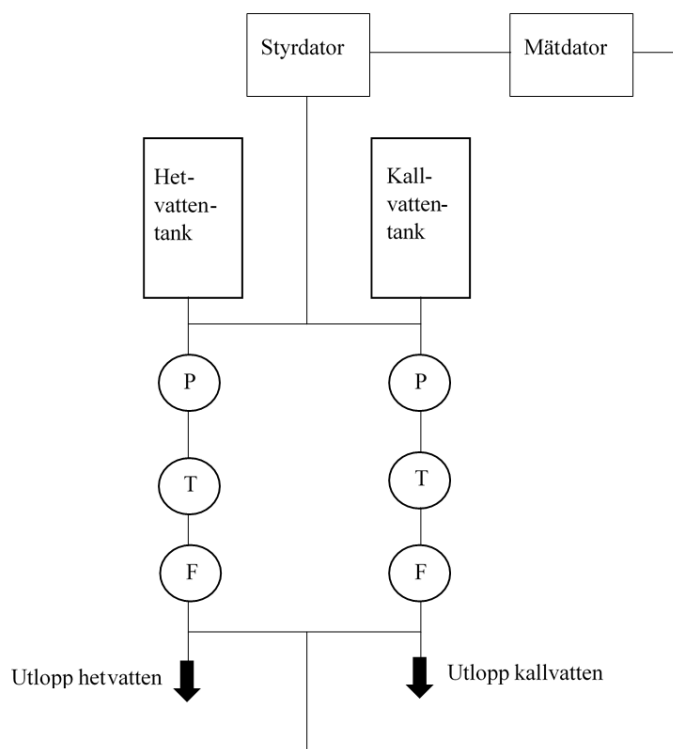
Svensson [11] kritiserar den kvalitativa metoden då han anser att den brister både i analys och i kontextualitet. Han menar att sammanhanget ur vilket data inhämtas ofta förbises genom att analysen i själva verket består av syntes. Det innebär att istället för att helheten analyseras genom delarna den är uppbyggd av, så konstrueras en helhet av utplockade delar. Dessa delar kan antingen vara fristående från varandra i sin relation, och alltså bestå oberoende av relationen mellan varandra, eller så beror delarna på sitt sammanhang. I det första fallet kallas relationen extern och i det senare intern. Genom att genom syntes bygga en helhet med externa relationer förloras den djupare förståelsen för helheten och sammanhanget, vilket egentligen är det som eftersöks för att nå optimal kunskapsbildning, menar Svensson [11]. Denna kritik är värd att beakta, då svaren från användarundersökningen genom syntes kommer bilda den helhet och det sammanhang, ur vilket duschmunstyckenas komfort kommer analyseras och graderas.

## 2.4 Utvecklingslaboratoriet

Alla mätningar och tester i det här projektet har genomförts i utvecklingslaboratoriet på FM Mattsson Mora Group AB. Figur 2.1 visar en schematisk skiss över hur laboratoriet fungerar. En hetvattentank och en kallvattentank bidrar med vatten till systemet. I varsina ledningar passerar vattnet tryckmätare (P), temperaturmätare (T) och flödesmätare (F) innan det mynnar ut i varsitt utlopp. Utloppen kan användas separat, antingen kallvatten eller hetvatten, eller kopplas ihop till ett gemensamt utlopp genom att en blandare monteras dit.

Laboratoriet regleras av två datorer: styrdatorn och mätdatorn. Styrdatorn kommunicerar hela tiden med mätdatorn. Mätdatorn, som operatören styr, skickar börvärden till styrdatorn som styr de båda tankarna och individuellt reglerar dess tryck, temperatur och flöden. Mätdatorn samlar sedan in information om ärvärdet och presenterar resultatet av mätningen i form av en pdf-fil eller ett excel-dokument. Alla laboratoriets mätinstrument kalibreras två gånger per år för att säkerställa att dess mätfel alltid är mindre än 1 %.

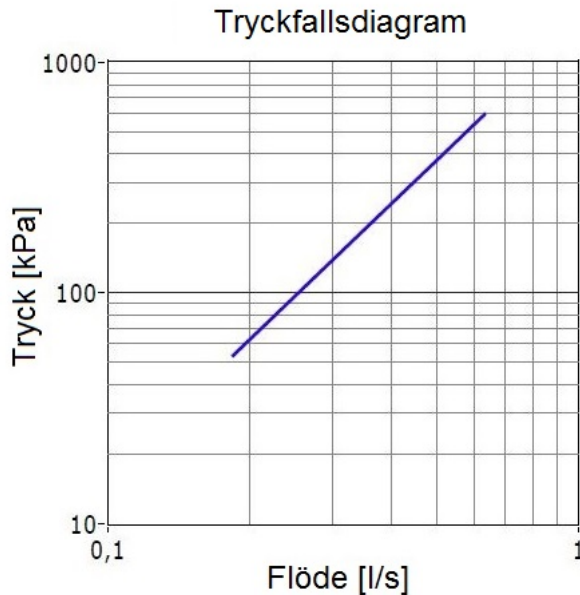
Mjukvaran som mätdatorn styrs genom kallas LabVIEW, vilket är en förkortning av Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench. Beroende på vad som ska mätas kan olika förgjorda program användas. Dessa program kallas makron och är skapade av laboratoriets personal. Genom att använda sig av makron säkerställs att alla mätningar genomförs på identiskt sätt så att en god repeternoggrannhet erhålls. Resultaten får ett ID-nummer och sparas i en databas vilket gör alla mätningar spårbara [12, 2016-06-01]. Tryckfallsdiagrammen som genomförs i projektet är ett exempel på användandet av ett makro.



Figur 2.1. Schematisk skiss över utvecklingslaboratoriet.

## 2.5 Tryckfallsdiagram

Med hjälp av ett av mät datorns makron skapas tryckfallsdiagram. I ett tryckfallsdiagram illustreras hur det statiska tryckfallet genom hela systemet relaterar till flödesmängden, se Figur 2.2.



Figur 2.2. Ett exempel på ett tryckfallsdiagram.

För att resultatet ska kunna presenteras som räta linjer används logaritmisk skala på båda axlarna, då förhållandet mellan tryckfall och flödesmängd är det som beskrivs i Ekvation 1:

$$\Delta P = \rho \cdot \left( \frac{Q}{K_v} \right)^2 \quad (1)$$

$\Delta P$  = det totala tryckfallet från inlopp till utlopp

$\rho$  = vattnets densitet

$Q$  = flödesmängden

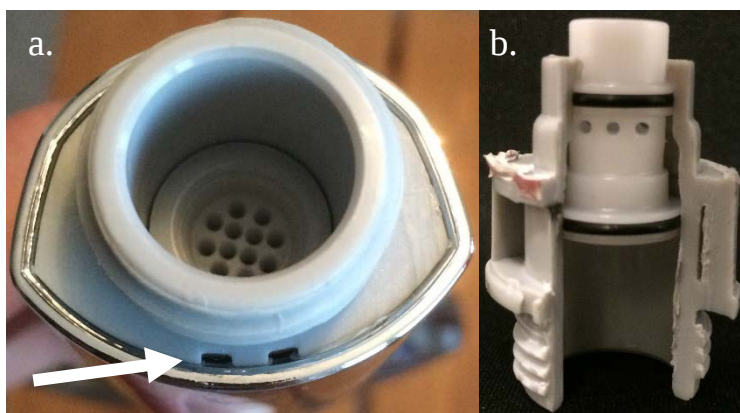
$K_v$  = flödesfaktorn

Flödesfaktorn är en konstant som beskriver the totala förlusterna i systemet. Laboratoriet består av ett antal rör, ventiler och andra komponenter. Genom dessa sker tryckfall. Flödesfaktorn beskriver flödet vid det totala tryckfallet 1 bar [13]. För laboratoriet är denna redan uppmätt och känd sedan tidigare. Däremot finns ingen information om flödesfaktorn för duschmunstycket som vid tillfället testas. Genom att det totala tryckfallet är känt, liksom flödesmängden och flödesfaktorn för laboratoriet, kan flödesfaktorn för duschmunstycket beräknas. Det är denna som avgör tryckfallsdiagrammets utseende och därigenom duschmunstyckets prestanda [12, 2016-06-03]. Makrot utför alla beräkningar.

Det totala tryckfallet är summan av alla tryckfall genom hela systemet från inlopp till utlopp. Eftersom trycket vid utloppet alltid är noll [14, s. 510] så är det totala tryckfallet lika med trycket i inloppet. Flödesmängden  $Q$  är konstant genom hela systemet.

## 2.6 Metoder för luftinblandning

Bland de fem duschmunstycken i det här projektet som blandar luft med vattnet finns två olika metoder för luftinblandning. Antingen används en modul som sitter på insidan av duschhandtagets inlopp, se Figur 2.3, eller så sugs luften in via hål i silen, se Figur 2.4. Figur 2.3a visar ett exempel på utsidan av duschmunstyckets inlopp då luften blandas in i handtaget. Mitt i bilden syns ett nät av små hål. Detta är undersidan av modulen. Pilen pekar på hålen där luften sugas in. I Figur 2.3b visas samma koncept i genomskärning. Den vita innerdelen är modulen.



Figur 2.3. Modul för luftinblandning i handtagets

I Figur 2.4 visas ett exempel på hur det kan se ut när luftinblandningen sker i silen. Pilarna pekar på en inre cirkel av hål. Det är genom dessa hål som luften sugas in. Vattnet som är blandat med luft kommer ut ur övriga hål.



Figur 2.4. Luftinblandningen sker i silen.

### 3. METOD

Projektet i sin helhet kommer följa den metod som finns beskriven i The Value Model [15] där fokus ligger på att öka produktens kundvärde. Det innebär att inte bara skapa en produkt som utför önskad funktion, utan en som ger kunden något över förväntan. För att kartlägga kundens - slutanvändarens - röst så kommer en kvalitativ undersökning genomföras (se avsnitt 3.1). Fokus kommer ligga på användarens upplevelse av komfort vid användandet av fem olika duschmunstycken med olika typ av luftinblandning. Syftet är att denna undersökning ska ge en ökad förståelse för sambandet mellan komfort och avsköljningsförmåga när luftinblandning används i duschmunstyckena. Detta görs genom en Kesselringmatris, då resultatet från användarundersökningen kommer jämföras och summeras med resultatet från avsköljningstestet i den svenska energiklassningsstandarden för handduschar SS820001:2010. Svaren från den kvalitativa undersökningen kommer också användas i Kano-modellen för att på ett tydligt sätt visa vilka funktioner som kunden anser vara oönskade, grundläggande och över förväntan. Denna information är viktig inför det kommande produktutvecklingsarbetet och ligger, tillsammans med resultatet från Kesselringmatrisen, till grund för den kravspecifikation som kommer upprättas.

Produktutvecklingen kommer inledas genom att befintliga lösningar för luftinblandning i handduschar undersöks. Särskilt kommer de duschmunstycken som i detta projekt testas enligt energiklassningen för handduschar, SS820001:2010, plockas isär och undersökas för att ge en ökad förståelse för deras konstruktion. Resultatet kommer sammanställas i ett funktionellt diagram och därefter utvecklas nya lösningar med hjälp av funktionell modellering, Ishikawadiagram och brainstorming. Lösningarna kommer sedan jämföras och utvärderas mot kravspecifikationen genom olika konceptvalsmatriser, varefter nya lösningar eventuellt skapas genom att kombinera några av lösningarna. Detta är en iterativ process som genomförs tills ett vinnande koncept skapats. Detta slutliga koncept kommer inte att produceras som fullvärdig produkt varför en fullständig utvärdering genom att återupprepa försöken från projektets början inte kommer kunna göras inom ramen för detta projekt.

#### 3.1 Användarundersökning - Kvalitativ undersökning med fenomenografisk inriktning

Syftet med användarundersökningen är att få en uppfattning om den upplevda komforten vid duschning med duschmunstycken med olika luftinblandningstekniker och avsköljningsförmåga. Detta kommer ske genom en kvalitativ undersökning, vilket innebär att informationen som kommer inhämtas är personliga beskrivningar och inte kvantifierbara data. Frågorna kommer ställas utan svarsalternativ och fokusera på användarens upplevelse, varför metoden har en fenomenografisk inriktning [16].

På grund av projektets tidsram väljs en så kallad tillgänglig grupp som testpersoner. Det innebär att urvalet inte görs efter en särskild population utan efter de personer som finns tillgängliga vid projektets genomförande [16]. En bra fördelning av ålder och kön har ändå uppnåtts. Enligt SCB är andelen kvinnor och män i Sverige ungefär lika stor år 2014 [17, s. 4-5]. Därför väljs lika många kvinnor som män till undersökningen. Samma källa ger att andelen ungdomar 15-

30 år är ungefär lika med andelen medelålders, 41-60 år, varför en jämn fördelning mellan dessa ålderskategorier också väljs. Detta urval representerar i grova drag hälften av Sveriges befolkning, men inga generella slutsatser kommer för den delen att kunna dras då deltagarantalet är alldeles för litet för att resultatet ska kunna säkerställas statistiskt. Detta är inte heller målet med undersökningen utan som tidigare nämnts söks endast en förståelse för sambandet mellan luftinblandningen och upplevd komfort.

### **3.1.1 Genomförande av användarundersökning**

Respektive hushåll kommer tillhandahållas ett kit innehållandes de fem duschmunstyckena som undersökningen avser utvärdera, ett referensmunstycke utan luftinblandning och en flödesbegränsare. Skriftlig information om testets upplägg samt instruktioner för montering av duschmunstyckena med flödesbegränsaren på befintlig duschslang ingår också. Likaså ingår den semistrukturerade enkät som testpersonerna fyller i efterhand och som kommer ge resultatet av undersökningen. En semistrukturerad enkät innebär att frågorna kommer ställas entydigt och likvärdigt till alla deltagare, men att de kommer få svara fritt efter sina egna upplevelser utan förtryckta alternativ. För att genom triangulering uppnå högre validitet i undersökningen kommer enkäten utformas med två delar [16]. Den ena delen kommer bestå av en Pugh-matris där upplevelsen av respektive duschmunstycke kommer jämföras med referensen genom plus och minus. På så sätt ges en uppfattning om respektive munstyckes särskilda styrkor och svagheter. Den andra delen innehåller frågor som undersöker individens mentala och känslomässiga dagsform, samt hur denna påverkats på grund av duschupplevelsen. Dessa frågor besvaras även för referensmunstycket. Enkätens frågor, beroende på dess art, besvaras antingen innan eller efter varje duschning med respektive duschmunstycke. Det är samma frågor som besvaras för varje duschmunstycke. Testperioden är två veckor och under denna tidsperiod ska varje medlem i hushållet som deltar i undersökningen, ha duschat med respektive duschmunstycke minst en gång i given ordningsföljd. Enkätsvaren samlas därefter in för analys.

### **3.1.2 Analys av användarundersökning**

Analysen av resultatet från användarundersökningen kommer att ske med en metod som ofta används inom fenomenografin. Den går till så att först skapas en helhetsbild av resultatet genom att svarsmaterialet gås igenom ett flertal gånger. Därefter söks tydliga skillnader och likheter mellan testpersonernas svar. Dessa struktureras och kategoriseras sedan i olika teman eller grupper, vilka granskas för att hitta mönster ur vilka slutsatser kan dras [16].

## **3.2 Utförande av avsköljningstest – med och utan luftinblandning**

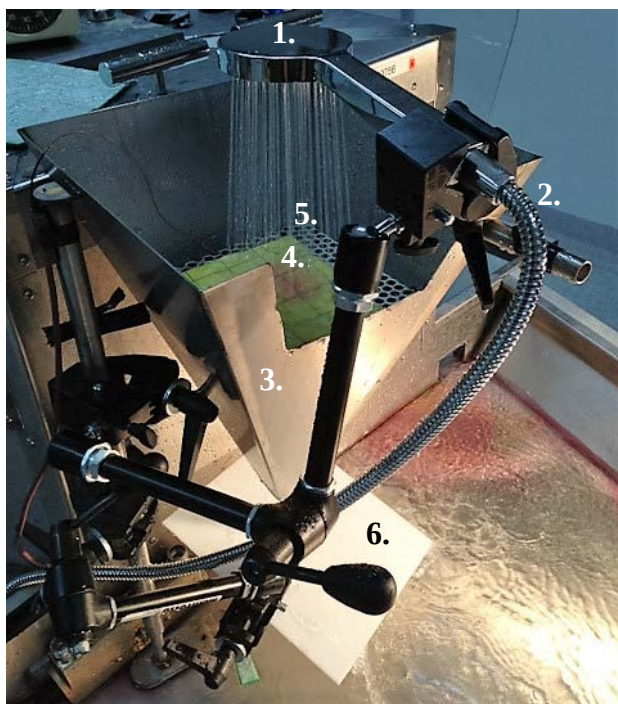
Detta avsnitt beskriver metoden för mätning av andelen luft som blandas in i vattnet samt hur luftinblandningen ska förhindras vid det jämförande avsköljningstestet i laboratoriemiljö. Avsköljningstestet kommer först ske med luftinblandningen och sedan utan, för att resultaten ska kunna jämföras och ge svar på om luftinblandningen påverkar avsköljningsförmågan. Det avsköljningstest som avses är det som finns med i den svenska energiklassningsstandarden för handduschar SS820001:2010 [1]. Dock kommer två justeringar göras för att passa projektet. Mätningarna kommer göras vid flödesmängden 9 l/min, eftersom det är standardflödet i FM Mattsson Mora Group AB:s handduschar och därför den begränsning som kommer gälla i

användarundersökningen. På grund av projektets tidsram kommer bara tio mätningar göras på respektive duschmunstycke till skillnad mot de tjugo som anges i standarden. Mot bakgrund av FM Mattsson Mora Group AB:s erfarenhet, och det faktum att en förändring av energiklassningen till just tio mätningar diskuteras, anses denna förändring godtagbar med hänvisning till Björn Wrahme, produktutvecklingsingenjör på FM Mattsson Mora Group AB [18, 2016-01-20].

### 3.2.1 Genomförande av avsköljningstest

Avsköljningstestet går till så att en fuktig testduk av given typ, storlek och vikt placeras på en något vinklad stödplatta. En mängd färg appliceras på testduken mitt under duschmunstyckets sil. Duschmunstycket börjar spola och tiden tas från det att färgen träffar den vita inspektionsplattan till dess att observatören inte längre urskiljer någon färg i vattnet. Mätningen upprepas och medelvärdet ger sedan måttet på duschens avsköljningsförmåga [1]. Figur 3.1 visar uppställningen av utrustningen vid avsköljningstestet. Särskilt viktiga komponenter i uppställningen är numrerade i bilden. Dessa är som följer:

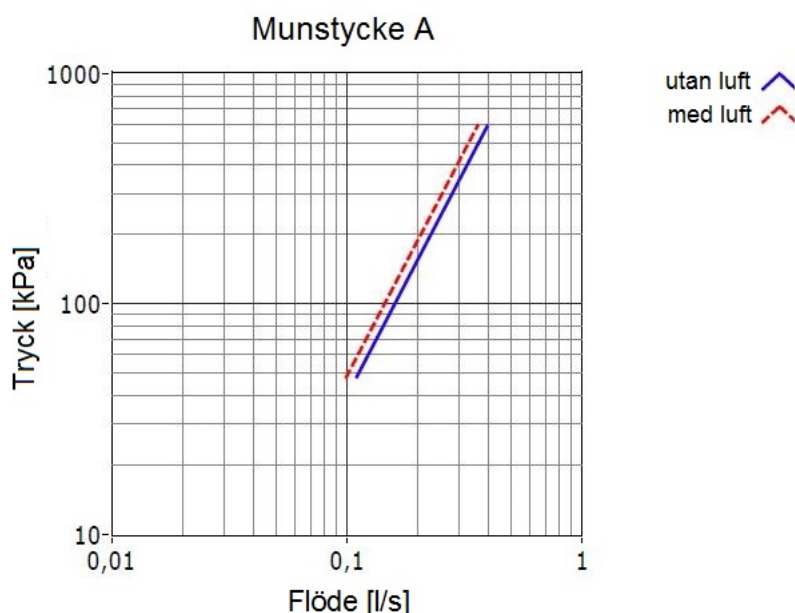
1. Duschmunstycke – objektet som ska testas
2. Duschslang - förbinder handuschen med blandaren
3. Tratt – samlar vattnet i en stråle för att det ska bli lättare för observatören att urskilja färgen i vattnet
4. Testduk – det är ur denna som färgen ska sköljas ur
5. Stålnät – detta finns till för att testduken ska kunna placeras i tratten samtidigt som vattnet kan rinna igenom
6. Inspektionsplatta – denna underlättar för observatören att urskilja när färgen försvunnit ur vattnet



Figur 3.1. Uppställning av utrustning vid avsköljningstestet.

### 3.2.2 Mätning av luftflöde

För att kunna beräkna andelen inblandad luft i respektive duschmunstycke görs tryckfallsdiagram, både med och utan luftinblandning. Som ett exempel visas i Figur 3.2 tryckfallsdiagrammet för munstycke A. Den streckade röda linjen representerar mätningen med luft och den heldragna blå linjen mätningen utan luft. Tryckfallsdiagram för projektets samtliga duschmunstycken återfinns i Bilaga 1. De data som hör till tryckfallsdiagrammet i Figur 3.2 presenteras i Tabell 3.1, liksom munstyckets beräknade andel luftinblandning vid respektive trycknivå.



Figur 3.2. Tryckfallsdiagram för munstycke A.

Tabell 3.1. Data relaterade till tryckfallsdiagrammet i Figur 3.2 samt beräknad andel luftinblandning.

| Utan luft      |                | Med luft       |                | Andel<br>luftinblandning |
|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------|
| Tryck<br>[kPa] | Flöde<br>[l/s] | Tryck<br>[kPa] | Flöde<br>[l/s] |                          |
| 50             | 0,109          | 50             | 0,099          | 10,6                     |
| 100            | 0,160          | 100            | 0,146          | 8,3                      |
| 200            | 0,226          | 200            | 0,205          | 8,9                      |
| 300            | 0,278          | 300            | 0,252          | 9,6                      |
| 400            | 0,324          | 400            | 0,293          | 9,3                      |
| 500            | 0,363          | 500            | 0,329          | 9,2                      |
| 600            | 0,397          | 600            | 0,361          | 8,8                      |

Genom att jämföra flödesmängden vid samma tryck, med respektive utan luftinblandning, kan den procentuella luftinblandningen beräknas. Detta görs enligt Ekvation 2:

$$\text{Andel luftinblandning} = 1 - \frac{Q_{\text{med luft}}}{Q_{\text{utan luft}}} \quad (2)$$

Q = flödesmängden

### 3.2.3 Förhindrande av luftflöde

Hålen där luften sugas in är utformade och placerade på olika sätt på de olika duschmunstyckena. Metoden för att täppa till hålen och därmed förhindra att luft blandas med vattnet är dock likartad för samtliga duschmunstycken. Häftmassa trycks in i hålen och ser till att det blir tätt. Vid behov används eltejp för att hålla häftmassan på plats. Figur 3.3 visar ett exempel på tätningen då luftinblandningen sker i handtaget, och Figur 3.4 då den sker i silen.

Till vänster i respektive figur visas originalutförandet med luftinblandning och till höger hur det ser ut med tätning.



*Figur 3.3. Förhindrande av luftinblandningen då den sker i duschhandtaget.*



*Figur 3.4. Förhindrande av luftinblandningen då den sker i silen.*

## 4. RESULTAT FRÅN DEN INLEDANDE UNDERSÖKNINGEN

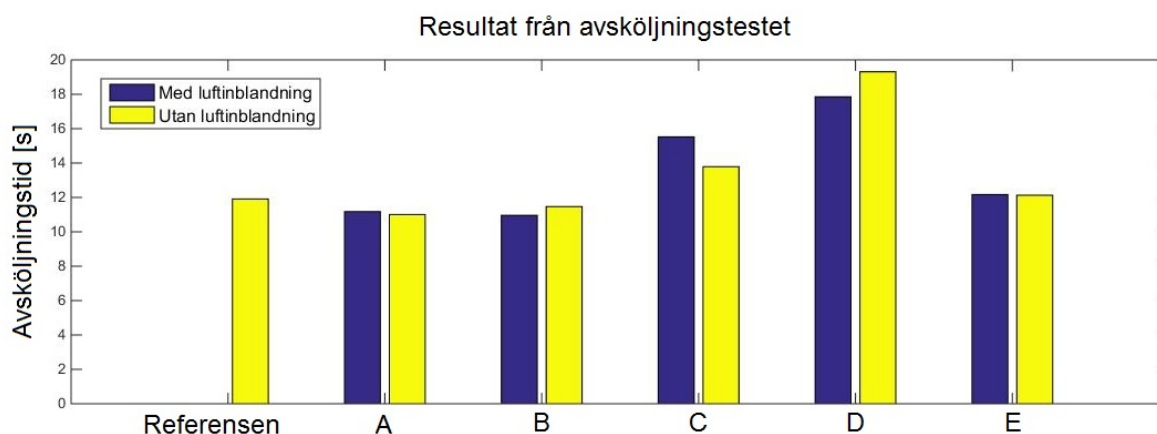
I detta avsnitt presenteras resultaten från den inledande undersökningen vars syfte är att skapa förståelse för projektets duschmunstyckens prestanda. Tre kategorier har undersökts: luftinblandningens påverkan på avsköljningsförmåga, andel luftinblandning och användarnas upplevelse.

### 4.1 Luftinblandningens påverkan på avsköljningstestet

Nedan i Tabell 4.1 och Figur 4.1 presenteras resultatet från avsköljningstestet enligt energiklassningsstandarden SS820001:2010. Testet gjordes med respektive utan luftinblandning för respektive duschmunstycke. Resultatet visar att luftinblandningen inte påverkar avsköljningsförmågan men att det kan vara stor skillnad på avsköljningsförmåga mellan olika duschmunstycken. Detta måste således bero på andra faktorer än luftinblandningen. Dessa kan vara munstyckets strålbild, både i form av spridning och vattnets hastighet, samt hålens utformning avseende antal, storlek och placering.

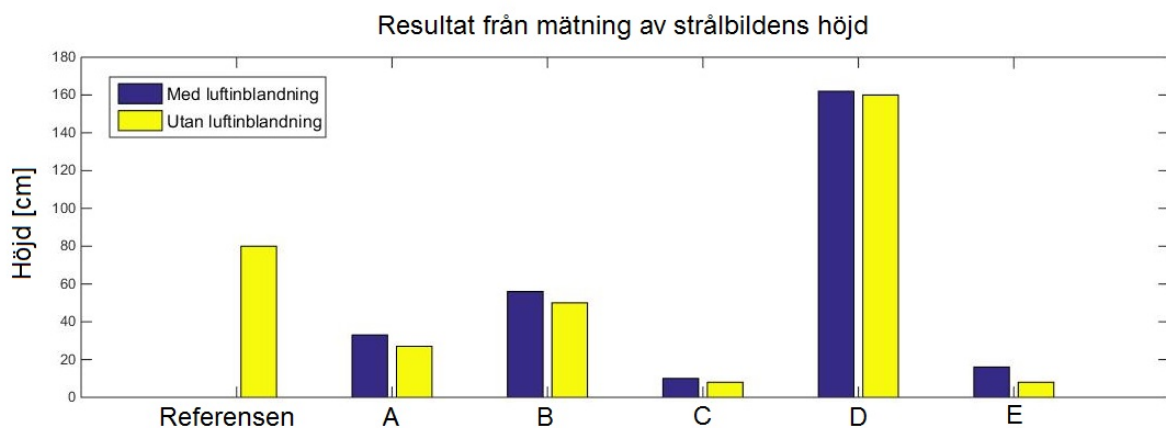
Tabell 4.1. Resultat labbtester. - innebär att ingen mätning gjorts.

| Duschmunstycke | Luftinblandning | Avsköljningstid, medelvärde [s] | Mätosäkerhet, avsköljningstest [%] | Höjd vattenstråle [cm] | Strålbildens spridning Ø [cm] |
|----------------|-----------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| Referens       | utan            | 11,91                           | 4,8                                | 80                     | 16                            |
| A              | med             | 11,18                           | 4,1                                | 33                     | 15                            |
|                | utan            | 11,01                           | 2,9                                | 27                     | -                             |
| B              | med             | 10,96                           | 7,1                                | 56                     | 15                            |
|                | utan            | 11,47                           | 3,9                                | 50                     | -                             |
| C              | med             | 15,52                           | 5,6                                | 10                     | 15                            |
|                | utan            | 13,79                           | 3,0                                | 8                      | -                             |
| D              | med             | 17,85                           | 5,7                                | 162                    | 20                            |
|                | utan            | 19,31                           | 1,9                                | 160                    | -                             |
| E              | med             | 12,17                           | 4,4                                | 16                     | 13                            |
|                | utan            | 12,13                           | 4,3                                | 8                      | -                             |



Figur 4.1. Grafisk presentation av resultatet från avsköljningstestet.

Ett enklare test genomfördes för att ta reda på om högre hastighet på vattnet ger bättre avsköljningsförmåga. Munstyckena vändes upp och ner och vattnet fick spruta med flödesmängden 9 l/min. Då mättes höjden på vattenstrålen med hjälp av en tumstock. Höjden på vattenstrålen är ett mått på det dynamiska trycket vilket beskriver vattnets kinetiska energi och därigenom dess hastighet. Vid en högre hastighet och därmed högre dynamiskt tryck fås en högre höjd på strålbilden [14, s. 478-480]. Det visade sig, se Tabell 4.1, att munstycket med högst stråle hade den längsta och därmed sämsta tiden i avsköljningstestet. Det går därför inte att dra någon självklar slutsats om att vattnets hastighet är avgörande för avsköljningsförmågan. Resultatet från mätningen av strålbildens höjd illustreras i Figur 4.2.



Figur 4.2. Grafisk presentation av resultatet från mätningen av strålbildens höjd.

Liknande resultat fås om strålbildens spridning jämförs. Strålbildens spridning togs fram genom att dess diameter mättes vid golvet, då duschmunstycket hölls 50 cm ovanför och spolade med 9 l/min. Just 50 cm ovanför golvet valdes utifrån hur strålbildens spridning testas i energiklassningsstandarden SS820001:2010. Duschmunstycket med vidast strålbild tog längst tid på sig i avsköljningstestet, se Tabell 4.1. Alltså har varken vattnets dynamiska tryck eller spridning någon direkt inverkan på resultatet från avsköljningstestet. Duschmunstycket med den längsta avsköljningstiden urskiljer sig från övriga genom att det saknar strålar i mitten. Slutsatsen kan då dras att det måste vara hålens utformning och placering som är avgörande för avsköljningsförmågan.

Mätosäkerheten för alla avsköljningstester är mindre än 10 % vilket enligt energiklassningsstandarden SS820001:2010 gör resultaten tillförlitliga [1]. Mätosäkerhetens beräknade värde för respektive duschmunstycke återfinns i Tabell 4.1, och det har beräknats enligt [1, s. 10-11] varur Ekvation 3 hämtats:

$$\text{Relativ mätosäkerhet} = \frac{2,13 \cdot s_x}{\bar{x} \cdot \sqrt{n}} \quad (3)$$

$s_x$ =standardavvikelsen

$\bar{x}$ =medelvärde

$n$ =antalet mätdata i serien

## 4.2 Testets mest effektiva luftinblandning

Vid en jämförelse av de olika duschmunstyckenas procentuella luftinblandning visar sig tre olika typer av luftinblandningsprinciper, se Tabell 4.2.

*Tabell 4.2. Procentuell luftinblandning vid olika tryck för respektive duschmunstycke.*

| Procent luftinblandning |      |     |     |      |      |
|-------------------------|------|-----|-----|------|------|
| Tryck [kPa]             | A    | B   | C   | D    | E    |
| 50                      | 10,6 | 1,5 | 5,7 | 30,1 | 13,3 |
| 100                     | 8,3  | 5,2 | 2,9 | 20,2 | 11,3 |
| 200                     | 8,9  | 5,9 | 5,6 | 12,5 | 10,0 |
| 300                     | 9,6  | 5,5 | 5,2 | 7,1  | 8,2  |
| 400                     | 9,3  | 5,8 | 5,6 | 3,2  | 8,1  |
| 500                     | 9,2  | 5,7 | 5,8 | 0,6  | 8,0  |
| 600                     | 8,8  | 5,6 | 5,9 | 0    | 7,4  |

Munstycke D och E kompenserar vid lägre tryck den mindre vattenmängden genom en större andel luft. Samtidigt minskar andelen luft succesivt med ökat tryck. Hur detta går till beskrivs närmare i kapitel 5. Produktutveckling. Detta är den mest effektiva principen ur ett energibesparande perspektiv. Själva syftet med att ha luftinblandning är att spara maximalt med energi men ändå bibehålla komforten [18, 2016-05-27]. Med den här principen förblir komforten densamma vid ett lägre tryck med luftinblandning som vid ett högre tryck utan luft. Den försämras inte heller vid ökat tryck eftersom luftinblandningen då minskar [4]. E är dock inte lika effektiv som D, eftersom E fortfarande blandar in en hög andel luft vid högre tryck jämfört med övriga duschmunstycken i testet. Dess luftinblandningsprincip är rätt men den behöver utvecklas för att prestera optimalt över hela tryckspektret.

Munstycke B och C blandar ungefär lika mycket luft i vattnet oavsett tryck. En ganska liten andel, cirka 5,6 % luft, blandas in. Det kan vara otillräckligt för att bibehålla komforten vid låga flöden och samtidigt vara tillräckligt för att försämrade den vid höga. I fallet C så ger luftinblandningen inte någon märkbar energibesparande effekt. Redan vid 150 kPa når flödet omkring 20 l/min. Detta kan jämföras med övriga munstycken som endast släpper igenom cirka 9-13 l/min vid samma tryck, se Bilaga 1. Vid så höga flöden som 20 l/min behövs dessutom inte luftinblandning för att bibehålla komforten enligt Ernest Lamani, ansvarig för utvecklingslaboratoriet på FM Mattsson Mora Group AB [12, 2016-02-03]. Detta uttalande stämmer också bra med resultaten från den asiatiska studien [4], som ger att en högre kraft i strålen per hål påverkar komforten negativt när komforten från början upplevdes bra.

Munstycke A blandar in knappt dubbelt så mycket luft som B och C, men är inkonsekvent då andelen luft skiftar oregelbundet vid olika tryck. Vid låga tryck kompenseras flödet nästan lika bra som med munstycke E, vilket är positivt. Vid höga tryck upplevs en negativ effekt på komforten på samma sätt som för munstycke B och C. Slutsatsen är att munstycke D har den bästa luftinblandningsprincipen av de duschmunstycken som ingår i projektet.

### 4.3 Optimal komfort enligt användarundersökningen

Resultatet från användarundersökningen presenteras nedan i sammanfattad form i en Pugh-matris, se Tabell 4.3. Matrisen togs fram genom att värdena från respektive deltagares Pugh-matris summerades, varefter det genomsnittliga betyget beräknades. För att kunna relatera detta medelvärde till bedömningsskalan användarna satte betyg efter, avrundades sedan medelvärdena till närmsta heltal. På grund av avrundningsfel stämmer inte summan i respektive kolumn alltid med sin totalsumma. Totalsumman presenteras som dess medelvärdes närmsta heltal. Fullständiga Pugh-matriser återfinns i Bilaga 2. Skalan som användes vid betygsättningen är följande:

+2 mycket bättre    +1 något bättre    0 lika    -1 något sämre    -2 mycket sämre

Tabell 4.3. Sammanfattning av användarundersökningen.

| Pugh-matris                           |   |    |    |    |    |    |
|---------------------------------------|---|----|----|----|----|----|
|                                       | R | A  | B  | C  | D  | E  |
| Upplevelsen av strålbilden            | E | -1 | 0  | -1 | 1  | -0 |
| Upplevelsen av ljudet                 | F | -1 | 0  | 0  | -1 | -0 |
| Upplevelsen av ursköljning av schampo | E | -0 | 0  | -1 | 1  | -0 |
| Känslan av att hålla i munstycket     | R | 0  | -0 | -0 | -0 | -1 |
| Upplevelsen av design/formgivning     | E | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  |
| Munstyckets vikt                      | N | -0 | -0 | -0 | -0 | 0  |
| Allmän upplevelse                     | S | -1 | -0 | -1 | -0 | -1 |
| Totalsumma:                           | 0 | -1 | -0 | -2 | 2  | -2 |

Det står klart att munstycke D är det duschmunstycke som användarna tyckte bäst om, medan C och E inte uppskattades. B ansågs likvärdig med referensen och A något sämre.

Referensmunstycket är det duschmunstycke vars prestanda det är svårast att få en entydig bild av utifrån användarnas svar. Generellt sett så finns det två grupper av åsikter; dels de som är nöjda med munstycket och dels de som hellre skulle välja ett annat. Den mesta kritiken riktas mot det som beskrivs som för dåligt tryck, då strålen inte blir så kraftfull som användarna önskar sig. Detta upplevs påverka ursköljningen av schampo i olika grad, men överlag anses det ändå gå ganska bra. När det gäller upplevelsen av ljudet är användarna enade i åsikten att det inte låter något speciellt, vilket är positivt. Också känslan av att hålla i referensmunstycket benämns generellt i positiva ordalag. Designen beskrivs som alldaglig och ordinär. Munstycket är kromat med ovalt handtag och runt huvud, samt en silstorlek på 80 mm.

Munstycke A upplevs som något sämre än referensmunstycket. Anledningen till det är effekterna av den inkonsekventa luftinblandningen. Strålbilden beskrivs som hackig och pulserande, och ljudet beskrivs på liknande vis som hostande och ryckigt. Detta upplevs generellt stressande och inverkar negativt på duschupplevelsen. Jämfört med referensen anses strålbilden mjukare och med sämre tryck. Upplevelsen av ett lägre tryck ger ett negativt bidrag till duschupplevelsen, liksom den något för dåliga spridningen av strålarna. Ursköljningen av schampo upplevs likvärdig eller sämre än med referensmunstycket. Munstyckets utformning

beskrivs i allmänhet i positiva ordalag då det både anses skönt att hålla i och ganska snyggt. Det har ett ovalt handtag med en silstorlek på 100 mm och är, liksom alla övriga munstycken i testet, tillverkad i kromad plast. Intressant är att strålbilden upplevs smalare med munstycke A som har en bredare sil än referensmunstycket, men ändå likvärdig spridning av strålarna, se Tabell 4.1 ovan i avsnitt 4.1 Luftinblandningens påverkan på avsköljningstestet. Detta beror sannolikt på att strålbilden hos munstycke A upplevs svagare än hos referensen.

Munstycke B blandar en konstant, mycket liten andel luft och dess prestanda skiljer sig inte mycket från referensmunstycket. Strålbilden upplevs likt referensen något svag och ljudet som ganska tyst. Däremot anses strålbilden något bredare trots att spridningen är likvärdig. Detta skulle kunna bero på munstycke B:s något större sil, 100 mm jämfört med referensens 80 mm. Upplevelsen av ursköljning av schampo varierar i ett brett spann från bra till mycket dåligt, men med något fler positiva svar. På grund av den svaga strålen uttrycker en del användare viss förvåning över sin upplevelse att munstycket ändå sköljer ganska bra. Munstycke B har en ganska kantig utformning vilken kritiserar av de flesta av användarna. Kritiken gäller känslan av att hålla i munstycket. Det anses inte särskilt greppvänligt. Samtidigt får det positiv kritik för sitt utseende och det upplevs ha en god balans.

Munstycke C får absolut sämst betyg av användarna. Avsaknaden av tillfredsställande tryck är det som kritiserar starkast. Strålen är mjuk och flödet upplevs rikt men upplevelsen blir trots det enligt majoriteten av användarna inte behaglig på grund av det undermåliga trycket. Givetvis finns det också de som uppskattar den sköljande känslan och koncentrationen av strålarna. De flesta av användarna tycker att ursköljningen av schampo tar tid och händerna måste hjälpa till för att vattnet ska tränga ner till hårbotten. Ett fåtal tycker att ursköljningen fungerar bra. Enighet råder när det gäller ljudet. Det anses inte låta något speciellt. Omkring hälften uppskattar designen och det runda, korta handtaget i kombination med den stora silen. Den andra hälften upplever det istället obalanserat och fult. Munstycket får godkänt när det gäller hur greppvänligt det är.

Munstycke D står ut särskilt när det gäller dess prestanda. Det är det enda duschmunstycke som anses bättre än referensen. Anledningen till det är att munstycke D är ensam om att kunna upprätthålla ett tillfredsställande tryck vid begränsat flöde. Munstycke D lyckas med det på grund av sin luftinblandningsteknik i kombination med bra utformad sil. Utformningen av silen och dess hål avseende storlek, antal och placering har visat sig vara väldigt viktig för slutresultatet gällande upplevelsen av bibehållet tryck. Majoriteten av användarna upplever ursköljningen av schampo som mycket bra, men strålbilden får viss kritik eftersom den saknar strålar i mitten. De mer negativt inställda upplever strålarna som glesa och lite för tunna eller vassa, medan andra upplever dem positivt som mer masserande. Munstycke D har testets bredaste strålbild, vilket uppskattas av användarna. Dess stora nackdel är den höga ljudnivån från luftinblandningen som många av användarna upplever negativt. Upplevelsen av dess utformning är i allmänhet positiv. Silen är mönstrad som en solfjäder och handtaget kantigt med rundade sidor. Kantigheten uppskattas inte fullt ut när det kommer till hur greppvänligt munstycket är, men utseendet gillas. Kopplingen mellan slang och duschmunstycke är rörlig så

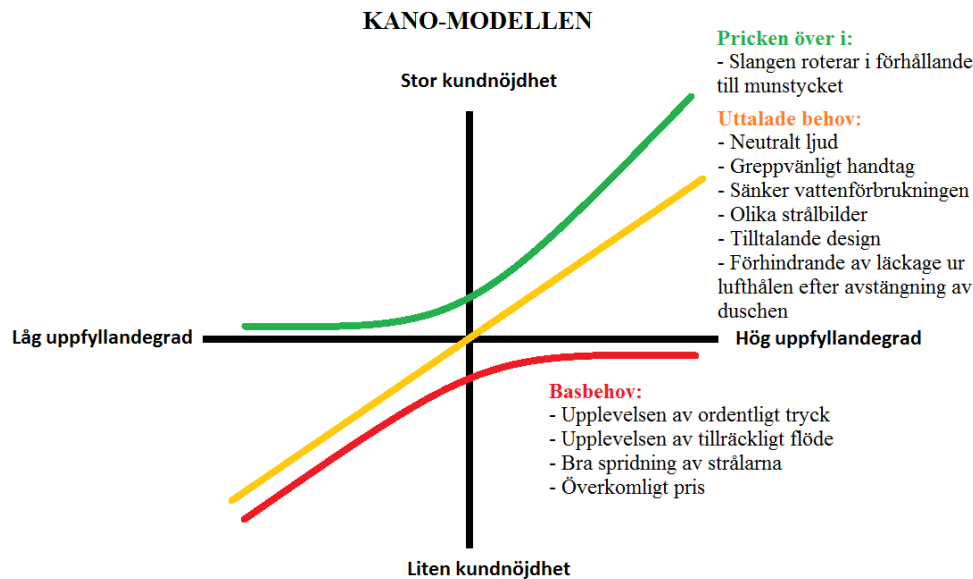
att duschmunstycket kan vridas utan att slangen följer med. Denna funktion får både positiva och negativa kommentarer av användarna.

Munstycke E har testets näst högsta luftinblandning vid låga tryck men trots det får dess prestanda lågt betyg av användarna. Strålen är mjuk och ymnig men trycket anses alldeles för dåligt. Just upplevelsen av lågt tryck är det som drar ner helhetsbetyget. Ursköljningen av schampo anses av de flesta gå ganska bra, men återigen skulle ett högre tryck ha förbättrat upplevelsen. Något särskilt ljud märks inte av, vilket är positivt. Strålbilden upplevs i allmänhet som bra med täta strålar men den anses något smal. Det stämmer väl överens med att strålbilden är testets smalaste. Den mesta kritiken riktas mot duschmunstyckets utformning. Det anses för kantigt och obekvämt att hålla i, samtidigt som det är obalanserat med smalt handtag och stor sil. Handtaget är betydligt smalare än munstycke B:s, som också ansågs för kantigt, men är något avrundat på ovansidan.

Sammanfattningsvis står det klart att alla gillar olika, men upplevelsen av tillräckligt tryck är grundläggande för att erhålla god komfort. Munstycke D är det duschmunstycke som, tack vare sin luftinblandningsteknik, bäst lyckas kompensera ett lägre flöde och blir därför användarnas favorit. Handtaget ska vara välbalanserat med mjuka linjer för att ligga skönt i handen, och silen ska vara utformad så att strålbilden blir tillräckligt bred och kraftfull. I Bilaga 3 återfinns ett urval av citaten från enkäten som denna undersökning bygger på.

#### **4.3.1 Kano-modellen**

Kano-modellen [15, s. 506-507], se Figur 4.3, används för att på ett tydligt sätt visualisera kundernas önskemål och krav. Basbehoven är sådana som måste uppfyllas för att kunden överhuvudtaget ska vara intresserad av att köpa produkten. Är inte dessa behov uppfyllda blir kunden besviken och byter sannolikt till en annan tillverkare. Uttalade behov är efterfrågade egenskaper som kunden önskar sig men inte ser som ett absolut krav. Om dessa behov uppfylls ökar kundvärdet. Pricken över i är funktioner som gör kunderna positivt förvånade och överraskade. I fallet här med att slangen roterar i förhållande till munstycket har det inkommit positiva förvånade kommentarer, men också några negativa. Det indikerar att alternativet bör finnas på marknaden men att funktionen tydligt bör kommuniceras för att attrahera rätt köpare.



Figur 4.3. Kano-modellen visualiserar kundernas önskemål och krav.

#### 4.3.2 Reliabilitet och validitet

Resultaten från denna kvalitativa användarundersökning, och i synnerhet dess slutsats, anses både tillförlitliga och giltiga. Både genomförande och analys har skett på ett systematiskt sätt och Pugh-matrisens jämförelse stämmer väl överens med användarnas beskrivningar av upplevelsen. Som forskare har jag aktivt valt att inte själv testa duschmunstyckena under samma förutsättningar som ges i undersökningen, för att inte mina egna åsikter ska färga analysen. Dock har jag tidigare duschat med några av dem, men jag anser inte att det har påverkat min analys av användarnas upplevelse. Trots att endast 15 personer har deltagit i studien anses urvalet tillräckligt bra för att slutsatsen ska kunna ge tydliga indikationer på vad ett större urval också skulle ha gett för svar. I grova drag representerar användarna hälften av Sveriges befolkning gällande ålder och kön [17, s. 4-5]. Alltså anses slutsatsen i viss mån generaliserbar på grund av det tydliga mönster som kan skönjas, när resultaten för respektive duschmunstycke jämförs. Återkommande är kommentaren om att upplevt lågt tryck försämrar komforten, liksom att munstycket ska kännas greppvänligt. Dessa två punkter anses därför generaliserbara.

Det finns ett flertal felkällor som kan ha påverkat resultatet av undersökningen. Några hushåll hade problem med att montera utrustningen och få ordentligt flöde. Detta antogs bero på att fel packning skickats med, men vid laboratorietest av utrustningen som respektive hushåll använt visade det sig att korrekt flöde erhöles. Anledningen till problemen skulle då antingen kunna vara felaktig installation eller att systemet i byggnaden inte lyckas tillhandahålla önskvärt tryck. Instruktionerna kring installationen ska ha varit tydliga och användarna tror sig ha installerat utrustningen på rätt sätt, varför det erhållna trycket antas vara problemet. Vid för lågt tryck ges inte med säkerhet det maximala flöde som flödesbegränsaren tillåter, utan det kan vara mindre. Hur detta påverkar resultatet behöver inte vara negativt. Istället kan det förstärka förståelsen för vad som krävs för att erhålla god komfort vid låga flöden. Tryckfallet måste på något sätt kompenseras. Det bör påpekas att antagandet om att systemet inte tillhandahåller tillräckligt

tryck inte med säkerhet är den verkliga felkällan, eftersom användarna upplever tillfredsställande komfort med sitt ordinarie duschmunstycke.

En annan felkälla skulle kunna vara att medlemmarna i respektive hushåll diskuterar upplevelsen av duschmunstyckena med varandra, och på så sätt påverkar varandras åsikter. Svaren från respektive person i respektive hushåll har varit personliga och väl spridda varför denna felkälla antas försumbar.

Likaså kan användarnas inställning och förväntan påverka resultatet. Någon som på förhand är mycket positiv till energibesparing kanske accepterar en viss försämring av upplevelsen, eftersom hen vet att det bidrar till minskad vattenförbrukning. Något sådant samband har inte märkts i undersökningen vilket ytterligare styrker dess trovärdighet.

Sammanfattningsvis antas användarundersökningen ha både god reliabilitet och validitet, samt viss generaliserbarhet.

#### **4.4 Sammanfattning av resultaten från den inledande undersökningen**

Denna inledande undersökning har utvärderat duschmunstycken utifrån tre kategorier: luftinblandningens påverkan på avsköljningsförmåga, andel luftinblandning och användarnas upplevelse. Det visade sig att luftinblandningen inte påverkar avsköljningsförmågan, utan att det är munstyckets utformning och placering av antalet hål som är avgörande. Vidare identifierades tre olika typer av luftinblandningsprinciper: en med konstant låg andel luftinblandning, en med inkonsekvent men något högre andel luftinblandning samt en mycket effektiv typ som kompenserar lägre tryck med högre andel luftinblandning. Användarna uppmärksammade omedvetet alla dessa tre luftinblandningsprinciper och den första respektive andra typen uppskattades inte. Viktigast för användarna för att erhålla god komfort är att ett tillfredsställande tryck upplevs. Den tredje luftinblandningsprincipen är den enda som lyckas med detta. Gällande utformningen av duschmunstycket så anser användarna att handtagets greppvänlighet är av stor vikt samt att en tillfredsställande strålbild erhålls.

##### **4.4.1 Bästa duschmunstycke avseende avsköljningsförmåga och komfort**

Nedan i Tabell 4.4 presenteras resultatet från hela förstudien. De tre delmomenten har viktats olika. Avsköljningsförmågan viktas som 1 eftersom luftinblandningen inte påverkar dess resultat, men den är ändå viktigt att ta hänsyn till eftersom den är en avgörande del i den svenska energiklassningen för handduschar. Luftinblandningen är hela projektets fokus. Den har visat sig vara avgörande för att kunna sänka flödesmängden, och därmed spara vatten, men ändå bibehålla komforten. Den viktas därför som 2. För att produkten ska vara lönsam måste den gå hem hos användarna. Därför anses deras åsikt vara lika viktig som den tekniska prestandan och viktas likvärdigt med 2. Munstyckena har fått en ranking (R) i skalan 1-5 beroende på hur de placerade sig i respektive deltest. 5 indikerar bäst och 1 sämst. Denna multipliceras sedan med viktningen för gällande deltest och ger totalpoängen (T) i respektive kategori. Totalpoängen summeras för att se vilket duschmunstycke som totalt sett anses vara det bästa. För att

tydliggöra resultatet divideras respektive munstyckes summa totalpoäng med summan för ett idealt duschmunstycke. Då fås en procentsats som relaterar munstyckets prestanda med det önskade idealfallet.

*Tabell 4.4. Kesselringmatris - sammanställning av förstudiens resultat*

|                      |      | Duschmunstycke |    |      |   |      |   |      |   |      |    |      |   |
|----------------------|------|----------------|----|------|---|------|---|------|---|------|----|------|---|
|                      |      | Ideal          |    | A    |   | B    |   | C    |   | D    |    | E    |   |
|                      | vikt | R              | T  | R    | T | R    | T | R    | T | R    | T  | R    | T |
| Avsköljningsförmåga  | 1    | 5              | 5  | 4    | 4 | 5    | 3 | 2    | 2 | 1    | 1  | 3    | 3 |
| Luftinblandning      | 2    | 5              | 10 | 3    | 6 | 1    | 8 | 1    | 2 | 5    | 10 | 4    | 8 |
| Användarundersökning | 2    | 5              | 10 | 3    | 6 | 4    | 4 | 1    | 2 | 5    | 10 | 2    | 4 |
| Summa totalpoäng:    |      | 25             |    | 16   |   | 15   |   | 6    |   | 21   |    | 15   |   |
| $T/T_{ideal}$        |      | 1,0            |    | 0,64 |   | 0,60 |   | 0,24 |   | 0,84 |    | 0,60 |   |
| Placering:           |      | -              |    | 2    |   | 3    |   | 5    |   | 1    |    | 3    |   |

Munstycke D sticker ut och är helt klart det bästa i den här undersökningen. Munstycke A, B och E är ungefär likvärdiga, godkända men med stor utvecklingspotential. Munstycke C faller utanför ramarna för vad som kan anses acceptabelt och är testets absolut sämsta duschmunstycke.

## 5. PRODUKTUTVECKLING

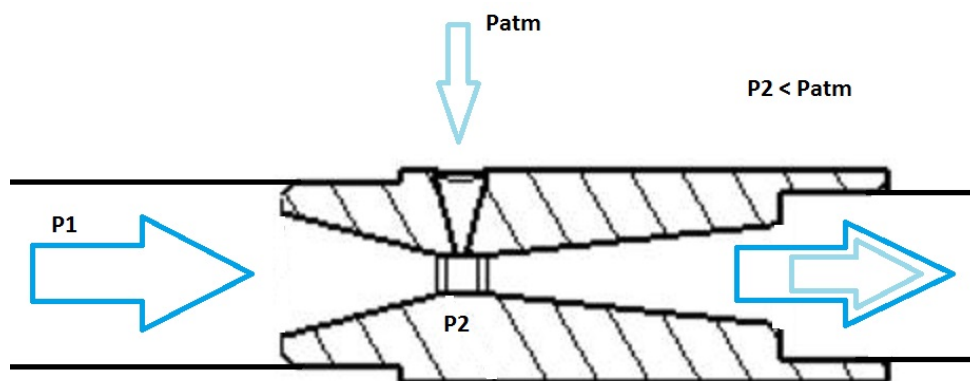
På grund utav hur projektet utvecklade sig, och skiftade fokus från ren konstruktion och produktutveckling till ökad förståelse för tekniken bakom luftinblandningen och fenomenet som sådant, har inte den föreslagna metoden från projektets början följts till fullo. Ingen kravspecifikation har gjorts, då behovet av denna inte ansågs finnas. Inte heller användes de föreslagna idégenereringsmetoderna Ishikawa-diagram, funktionell modellering eller brainstorming. Konzepten skapades istället med utgångspunkt i den befintliga, mest effektiva luftinblandningsmodulen som är med i detta projekt. Konzeptvalsmatriserna ersattes med analys av resultat från verkliga laborietest, vilka låg till grund för utvärderingen av de olika koncepten.

### 5.1 Tekniskt underlag

Det här avsnittet beskriver några av de luftinblandningstekniker som återfinns på marknaden idag. Då FM Mattsson Mora Group AB genom Björn Wrahme önskar en modul som kan passa flera olika modeller av duschmunstycken kommer fokus läggas på dessa tekniker. Luftinblandning i silen kräver individuell anpassning för respektive duschmunstycke och kommer därför inte undersökas närmare [18, 2016-02-29].

#### 5.1.1 Undersökning av befintliga lösningar för luftinblandning

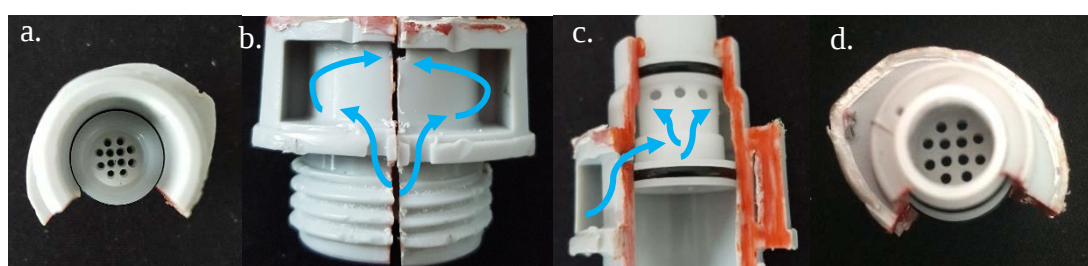
Produktutvecklingsarbetet inleddes med en teoretisk undersökning för att skapa förståelse för vad det är som gör luftinblandning möjlig. Efter diskussion med en forskare [19, 2016-04-14] vid Institutionen för Tillämpad Mekanik på Chalmers tekniska högskola lades följande hypotes fram: Vattnet kommer flödandes med trycket  $P_1$ . På något sätt orsakas en trycksänkning till trycket  $P_2$ . Om  $P_2$  är lägre än atmosfärstrycket  $P_{atm}$  har det skapats ett undertryck och luft kommer sugas in och blandas med vattnet. Figur 5.1 nedan visualiserar det på ett tydligt sätt.



Figur 5.1. Beskrivning av orsaken till luftinblandningen.

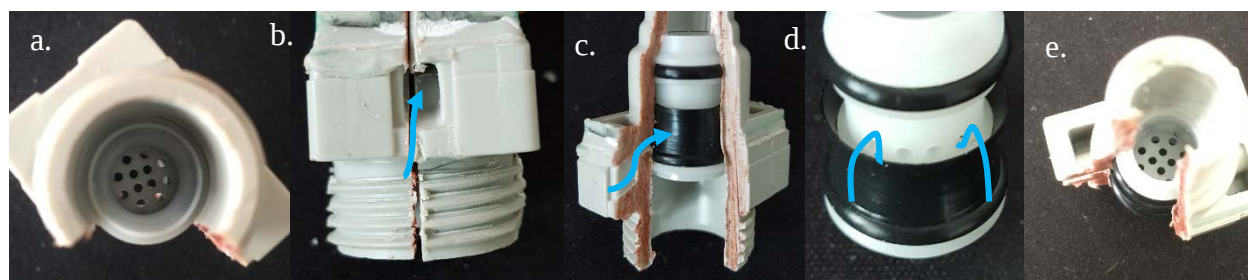
Nästa steg blev att undersöka hur duschmunstyckena i detta projekt orsakar den önskade trycksänkningen. Fokus lades på munstycke A, B och D som alla blandar in luft med hjälp av en modul i nederdelen på duschmunstyckets handtag.

Luftinblandningstekniken för munstycke A visas i Figur 5.2. I Figur 5.2.a syns inloppet till duschmunstycket. Vattnet flödar vinkelrätt in i papperets plan. Den nätliknande strukturen av runda små hål är undersidan av modulen och det som orsakar det önskade tryckfallet, vilket gör att luft börjar sugas in. Vidare i Figur 5.2.b och 5.2.c visas luftens väg in i modulen med hjälp av de ljusblå pilarna. Först passerar luften en kammare mellan ytterhöljet av handtaget och dess innerdel, se Figur 5.2.b. Därifrån trängs luften igenom en smal passage in till ytterligare en kammare som skiljer luften från vattnet. Detta visas i Figur 5.2.c där vattnet kommer flödandes från bildens nedkant. Luften tar sig igenom de små hålen i modulen i Figur 5.2.c, totalt finns det sex stycken runt om, innan det blandar sig med vattnet i Figur 5.2.d som kommer flödandes ut ur papperets plan. Dessa flertalet kammare och passager kan vara det som gör luftinblandningen hos munstycke A så inkonsekvent.



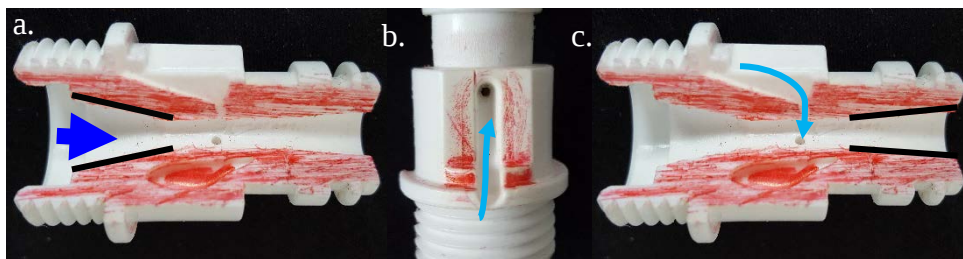
Figur 5.2. Luftinblandningsprincipen för munstycke A.

Som syns i Figur 5.3a skapar munstycke B tryckfallet på samma sätt som munstycke A, med en nätliknande struktur av små hål vilken utgör undersidan av modulen. Återigen flödar vattnet in i papperets plan och vyn är inloppet till duschhandtaget. På grund av tryckfallet börjar luft sugas in genom två hål, ett på varje sida av duschmunstycket, se Figur 5.3.b. De ljusblå pilarna i Figur 5.3 visar luftens väg in i modulen. Hålen är formade som en fålla som direkt leder luften vidare till en kammare som skiljer luften från vattnet enligt Figur 5.3.c. I Figur 5.3.c kommer vattnet flödandes från nedkanten av figuren i riktning uppåt. Kring modulen sitter en backventil som förhindrar att vatten rinner ut genom lufthålen när duschen stängs av. Luften måste ta sig förbi denna backventil och igenom de små hålen som syns i Figur 5.3.d, innan den blandar sig med vattnet som kommer flödandes ut ur papperets plan i Figur 5.3.e. Backventilen försvårar luftens väg till vattnet och kan vara anledningen till att munstycke B blandar en sådan liten andel luft.



Figur 5.3. Luftinblandningsprincipen för munstycke B.

Munstycke D:s tillvägagångssätt skiljer sig väsentligt från övriga två luftinblandningsmoduler. Det är också det duschmunstycke som blandar överlägset mest luft vid låga tryck. Tryckfallet skapas genom en förträngning i form av en kona, se Figur 5.4.a där den mörkblå pilen symboliserar vattnets väg. Luften sugas in genom två fållor, en på vardera sidan om munstycket, inte helt olikt munstycke B. Detta visas med hjälp av den ljusblå pilen i Figur 5.4.b. Skillnaden är att luften sugas direkt in i vattenflödet, vilket visas av den ljusblå pilen i Figur 5.4.c. Förträngningen ökar sedan successivt i diameter likt en diffusor för att i möjligaste mån återställa trycket till den nivå det hade innan tryckfallet, se Figur 5.4.c. Det är Venturi-effekten som tillämpas och i ett idealt fall skulle Bernoullis principer vara tillämpbara. Verkligheten skiljer sig dock markant från idealet. Försök gjordes att beräkna tryckfallet men då resultaten blev helt orimliga drogs slutsatsen att teorin inte är tillämpbar i detta fall. Istället måste empiriska data användas för att undersöka tryckfallet och dess påverkan på luftinblandningen.

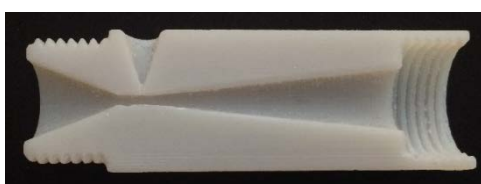


Figur 5.4. Luftinblandningsprincipen för munstycke D.

## 5.2 Undersökning av parametervärden

Med utgångspunkt i munstycke D:s luftinblandningsmodul skapades ett antal olika adaptrar med varierande dimensioner på innergeometrin. Detta gjordes för att undersöka vilka parametervärden som ger den bästa luftinblandningen i kombination med bibehållen komfort. Adaptrarna skrevs ut i en 3D-skrivare som använder sig av materialet VeroGray RGD850 från Stratasys. Det ger en ganska grov ytfinhet vilken påverkar resultaten i mätningarna. För att säkerställa att en fabriksproducerad enhet får samma egenskaper som dessa adaptrar så skulle kompletterande mätningar behöva göras på en modul med jämförbar ytfinhet.

Adaptrarna monterades mellan utloppet på vattenlabbet och referensmunstycket. Därefter undersöktes hur väl respektive adapter fungerar vid olika tryck genom att kommentarer om eventuella läckage, oljud och andra egenskaper noterades. För att ta reda på hur stor andel luft som blandades in genomfördes tryckfallsdiagram och därefter beräknades den procentuella luftinblandningen. Resultaten från laborietesten analyserades sedan och gav de slutsatser som presenteras nedan. Då företaget inte vill delge några numeriska värden på parametrarna har dessa maskerats. Figur 5.5 visar en adapter i genomskärning.



Figur 5.5. Adapter i genomskärning.

### 5.2.1 Antal lufthål

En ejektor, längst till vänster i Figur 5.6, använder sig av samma princip som inloppet i munstycke D:s luftinblandningsmodul. En kona tränger ihop vattnet, sänker trycket och ökar hastigheten. Den fungerar därför till att blanda luft med vattnet. När antalet lufthål, och i viss mån dess utformning, skulle undersökas användes därför en ejektor för att säkerställa att själva luftinblandningsprincipen var densamma för varje försök.

Två olika utformningar på lufthålet undersöktes; dels en kona med samma parametrar som vid vattnets inlopp och dels en form likt en tratt. Båda geometrierna valdes för att öka hastigheten på luften då det förväntades bidra till en bättre luftinblandning. Antagandet baserades på munstycke D:s utformning av sina lufthål. Det visade sig att konan fungerade bäst varför den utformningen fortsatt användes.

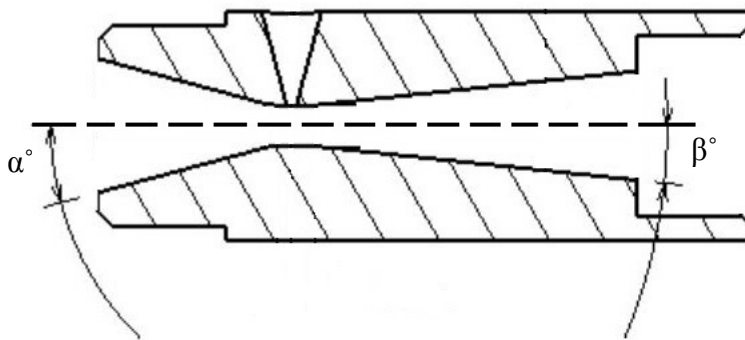
Fyra olika varianter av antal lufthål undersöktes; ett hål samt två hål med respektive  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  och  $180^\circ$  mellan sig. En principskiss över lufthålens placering visas i en vy ovanifrån längst till höger i Figur 5.6. Adaptern med ett hål blandade luft bra utan läckage. Med två hål läckte det något och läckaget blev allt större ju längre ifrån varandra hålen satt. Dessutom upplevdes större oljud med två hål jämfört med ett. Därför valdes ett lufthål fortsättningsvis. Adapterarna visas i Figur 5.6.



Figur 5.6. En ejektor och adapterar för undersökning av antalet lufthål, samt en principskiss över lufthålens placering.

### 5.2.2 Utformning av inlopps- och utloppsvinkel

Två olika storlekar på inloppsvinkeln  $\alpha^\circ$  har undersökts. Den ena vinkeln valdes utifrån den ursprungliga, så gott som ideala venturi-metern, och den andra utifrån vad som ofta används i dagens industriella tillämpningar [20, s. 435]. Båda vinklarna fungerade till viss del men resultatet var beroende av utloppsvinkeln. Två olika storlekar på utloppsvinkeln  $\beta^\circ$  undersöktes. Figur 5.7 visar vinklarnas placering inuti adaptern.

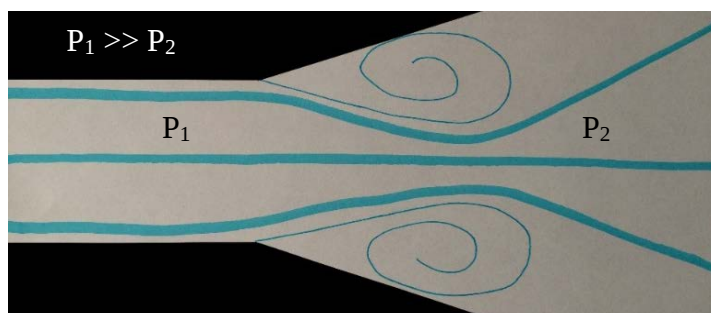


Figur 5.7. Schematisk skiss över adapter i tvärsnitt. Inloppsvinkel  $\alpha^\circ$  och utloppsvinkel  $\beta^\circ$ .

Med den något större inloppsvinkeln,  $\alpha^\circ$ , och den mindre av utloppsvinklarna blandades förvisso luft vid 50 kPa, men från ungefär 300 kPa och uppåt läcker det vatten ur lufthålet. Det till och med sprutar ut en liten vattenstråle och då blandas ingen luft. Dessutom ger den ifrån sig ett obehagligt oljud. Om utloppsvinkeln ökas något blir oljudet något mjukare men det är fortfarande obehagligt. Det läcker mindre och vid högre tryck än med den mindre utloppsvinkeln. Trots det märks att den blandar luft över hela spektret från 50-600 kPa. Dock är läckage aldrig acceptabelt varför inloppsvinkeln  $\alpha^\circ$  inte anses fungera.

Den mindre inloppsvinkeln kontrollerades bara i kombination med den mindre utloppsvinkeln. Denna kombination visade sig fungera mycket bra och blandar en högre andel luft vid låga tryck och sedan successivt mindre och mindre. Ljudet anses fortfarande något störande men acceptabelt i förhållande till övriga modeller. Det uppstår heller inte något läckage. Därför väljs den mindre inloppsvinkeln respektive den mindre utloppsvinkeln.

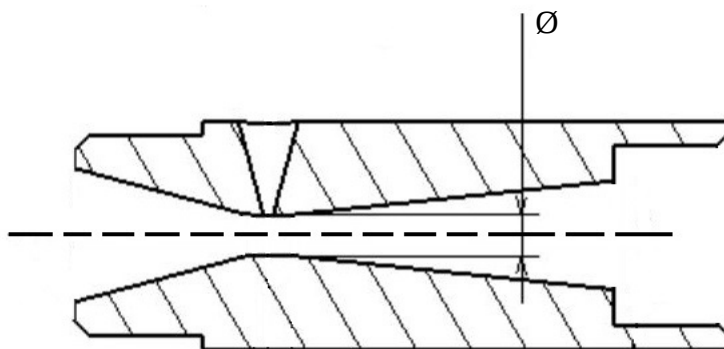
Valet av storleken på  $\beta^\circ$  gjordes för att minimera förlusterna som uppstår inne i adaptern. En generell tumregel säger att om  $\beta^\circ$  är större än  $7^\circ$  så kommer släppningar uppstå längs väggarna där innergeometrin börjar öka i diameter [19, 2016-04-19]. Släppningar innebär att det skapas turbulens och små virvlar närmast väggen på innergeometrin som vattnet flödar genom. Dessa släppningar skapar en förträngning som vattnet måste passera, en så kallad vena contracta. Där vattnet trängs ihop skapas mycket stora värmeförluster och därigenom även tryckförluster [19, 2016-04-19], [14, s. 562]. Detta vill undvikas. Fenomenet visas i Figur 5.8.



Figur 5.8. Släppningar orsakar en förträngning där stora värmeförluster sker. Detta resulterar i ett extra oönskat tryckfall.

### 5.2.3 Optimal diameter

En liten diameter på den smala sektionen mellan inloppet och utloppet, se Figur 5.9, antogs öka tryckfallet och därmed luftinblandningen. En alltför stor diameter antogs istället göra så att tryckfallet inte blev tillräckligt för att luft skulle blandas in, med läckage som följd. Dessa antaganden visade sig stämma. Åtta diametrar a-h undersöktes. Av dessa ger fyra stycken ett så lågt flöde att komforten anses påverkas negativt. Därför väljs dessa bort trots att andelen inblandad luft är stor. Två stycken klarade inte av att blanda in luft. En lämplig storlek på diametern i den smala sektionen är diameter e-f.



Figur 5.9. Schematisk skiss över adapter i tvärsnitt. Diametern  $\varnothing$  varierades.

### 5.2.4 Tvärsnittets form

I ett försök att kunna korta längden på adaptern med bibehållen tryckåterhämtning och minimala förluster prövades ett rektangulärt tvärsnitt [20, s. 414-417]. Resultatet blev negativt då alla sex adapterar läckte vatten vid omkring 300 kPa. I vissa fall uppstod läckaget vid ännu lägre tryck. Mot bakgrund av detta rekommenderas ett cirkulärt tvärsnitt.

### 5.2.5 Produktionsvariationer

Egenskaperna hos tre olika exemplar av munstycke D:s modul undersöktes i samma individ av duschmunstycke D. På samma vis undersöktes tre olika exemplar av den adapter som anses fungera bäst, kallad C4, i en och samma individ av referensmunstycket. Resultatet är att produktionsvariationer ger en tydlig skillnad på luftinblandningen. I fallet med munstycke D:s modul så bibehölls principen med successivt mindre luftinblandning vid högre tryck, men det skiljer några procentenheter mellan exemplaren om andelen inblandad luft jämförs.

För adaptern blev resultatet mer drastiskt. Det första exemplaret blandade ungefär hälften så mycket luft vid 50 kPa som munstycke D:s modul, men med samma princip. Det andra exemplaret blandade tydligt mindre luft och det närmar sig en konstant nivå vid tryck högre än 300 kPa. Det tredje exemplaret däremot blandar en låg, något inkonsekvent andel luft. Då parametrarna teoretiskt är identiska måste felet bero på produktionsvariationer. Så här stora variationer är inte acceptabelt om produkten skulle gå till försäljning. Det är alltså mycket viktigt att se till så att produktionsprocessen håller hög kvalitet och en stabil nivå för att kunna

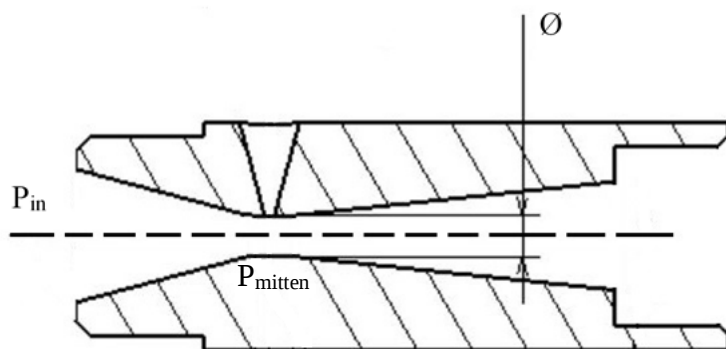
garantera luftinblandningsmodulernas prestanda, då små variationer kan leda till stora prestationsskillnader.

### 5.2.6 Prestationsskillnad med olika duschmunstycken

I inledningen till detta kapitel uttrycktes en önskan om att en och samma luftinblandningsmodul skulle kunna användas till olika duschmunstycken. Det har visat sig att det inte är så enkelt. Utformningen av duschmunstycket påverkar i stor grad om och hur väl luftinblandningen fungerar. Modul D och den bästa adaptern prövades med sju olika duschmunstycken. Två av dessa är egentligen likadana med den enda skillnaden att den ena har fler hål öppna i silen. Denna modell är avsedd för luftinblandning och den ger också högst andel inblandad luft. Referensmunstycket blandar in en något mindre andel luft ihop med respektive modul och adapter, jämfört med modellen som är avsedd för luftinblandning. Adaptern lyckas blanda in luft i ytterligare ett duschmunstycke, om än en ganska låg andel, men tillsammans med resterande fyra klarar varken modul D eller adaptern av att blanda in någon luft alls. Detta visar att luftinblandningen måste utvecklas tillsammans med duschmunstycket för bästa möjliga resultat.

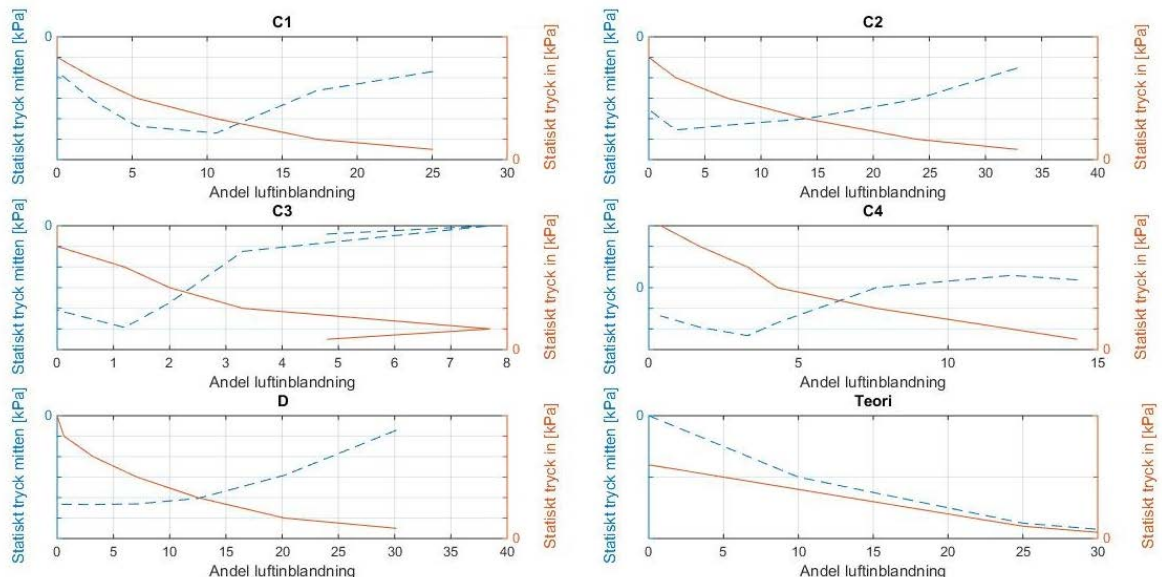
### 5.3 Tryckfallets relation till andelen inblandad luft

Då teorin för hur luftinblandningen fungerar inte kunde verifieras med beräkningar uppmättes trycket vid inloppet samt i den smala mittsektionen, precis där luften sugas in, se Figur 5.10. Detta gjordes för fem olika adaptrar samt munstycke D:s modul. En av dessa adaptrar, kallad C5, blandar inte in någon luft varför den inte finns med i Figur 5.11 och 5.12. Modul D anses vara den med verkligheten bäst överensstämmande eftersom den är fabriksproducerad och redan finns i handeln. Kvaliteten måste därför vara hög och felkällorna små. Som diskuterats i avsnitt 5.2.5 Produktionsvariationer kan skillnaden mellan olika utskrifter från 3D-skrivaren vara stor. Det bästa exemplaret av adapter C4 har använts vid dessa mätningar. Då endast ett exemplar av respektive adapter C1-C3 skrivits ut finns ingen information om deras egentliga kvalitet och spridningsmått. Trots detta anses vissa slutsatser kunna dras ur graferna i Figur 5.11 och 5.12 som visar hur olika tryck varierar med luftinblandningen. Figur 5.10 visar en schematisk skiss över adapterna. Det enda parametervärde som skiljer dem åt är storleken på diametern.



Figur 5.10. Schematisk skiss över adapterna där diametern varierar. Uppmätta tryck finns också markerade.

Grafen under rubriken teori i Figur 5.11 är helt konstgjord, utan grund i några mätningar, med den enda avsikten att illustrera tolkningen av teorin som säger att mer luft blandas in vid lägre tryck, både vid inloppet och vid mittsektionen. Denna tolkning visar sig vara helt felaktig om en jämförelse görs med modul D. Där visas att ett visst undertryck behövs för att blanda in luft, men ju lägre det blir desto mindre luft blandas med vattnet. Detta skulle kunna bero på att hastigheten på vattnet då blir så hög att luften inte förmår tränga sig in.



Figur 5.11. Grafer för fyra olika adaptrar och en modul som relaterar det statiska trycket i mittsektionen och inloppet till andelen luft som blandas in.

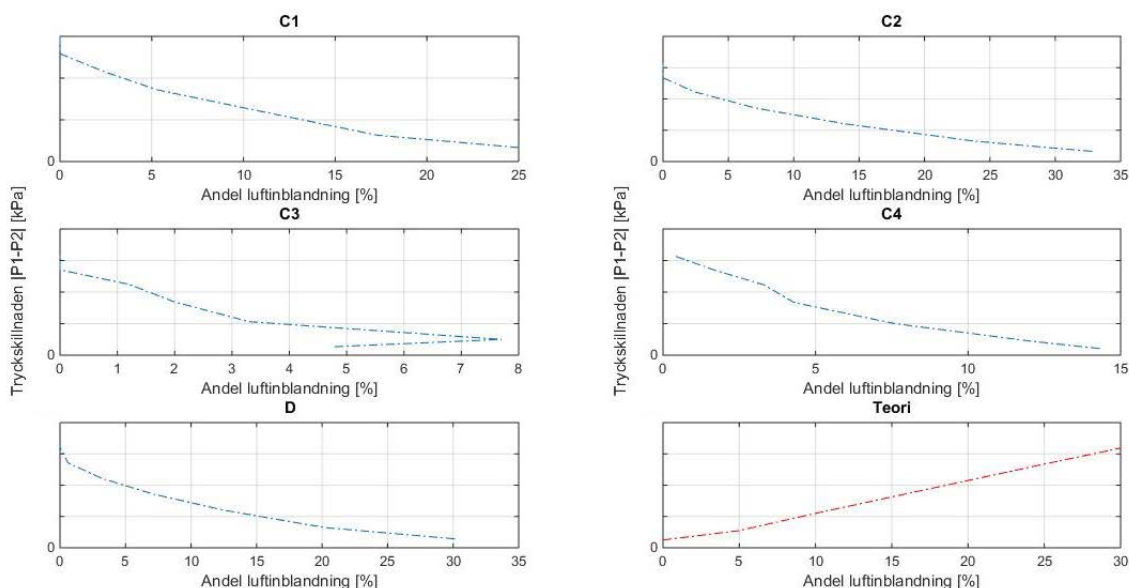
Adapter C1 och C2 beter sig på liknande sätt som modul D när tryck och luftinblandning jämförs, se Figur 5.11. De blandar som mest luft vid ett lågt tryck i inloppet samt ett inte alltför stort undertryck i mittsektionen. När trycket i inloppet ökar så minskar undertrycket i mittsektionen liksom andelen inblandad luft. Varför undertrycket mot slutet plötsligt ökar samtidigt som andelen luft minskar går inte att säga något om med endast en mätning genomförd. Det skulle till exempel kunna bero på produktionskvaliteten.

Att grafen för adapter C3 i Figur 5.11 ser lite underlig ut beror på att C3 blandar mer luft vid 100 än 50 kPa, men sedan sjunker andelen inblandad luft successivt.

Resultatet för adapter C4, se Figur 5.11, är det mest förvånande. Adaptern blandar luft på ett bra och konsekvent sätt men i motsats till teorin, är trycket i den smala sektionen vid låga inloppstryck högre än atmosfärstrycket. Det borde rimligtvis innebära att vatten då sprutar ut ur lufthålet om undertrycket är den drivande kraften. Så är inte fallet. Alltså stämmer inte teorin med detta experiment.

Studerat istället Figur 5.12, som visar hur tryckskillnaden  $|P_1 - P_2|$  relaterar till luftinblandningen, blir resultatet klarare. Trenden för alla adaptrar och modul D är tydlig; ju mindre tryckskillnad, desto större andel luftinblandning. Den återigen konstgjorda teorigrafen

visar på motsatt förhållande. Mot bakgrund av detta skulle det kunna tänkas att tryckskillnaden noll skulle ge maximal luftinblandning. Detta undersöktes genom en modul med konstant diameter. Resultatet är att vattnet bara rinner ut ur lufthålet. Det krävs således en viss tryckskillnad för att driva luftinblandningen. Dess exakta storlek har inte undersökts närmare i detta projekt.



Figur 5.12. Relationen mellan tryckskillnaden  $|P1-P2|$  och andelen luftinblandning för fyra olika adapterar och en modul.

En jämförelse av mätdata för respektive adapter C1-C4 samt modul D har gjorts mot adapter C5, som inte klarar av att blanda in någon luft. Slutsatsen av den jämförelsen är att både en för liten och för stor tryckskillnad  $|P1-P2|$  inverkar negativt på luftinblandningen. Likaså får inte trycket i den smala sektionen bli för högt. Detta sammanfattar resultatet från den här undersökningen.

## 5.4 Slutgiltigt koncept

Den adapter som totalt sett anses fungera bäst med avseende på luftinblandningsförmåga, flödesmängd och författarens egen upplevelse av ljud och komfort kallas C4. C4 har utvärderats tillsammans med referensmunstycket. I den kombinationen blandar C4 en väl avvägd mängd luft. Den släpper igenom ett något högre flöde än modul D och har betydligt mjukare droppar. Den upplevs också ha ett behagligare ljud då det inte knastrar utan mer viner, vilket bättre försvinner i ljudet av vatten som spolats. Upplevelsen av C4 kan också beskrivas som en kombination av munstycke D och C eller E; större, mjukare droppar men ändå med bra tryck och en något masserande känsla. Tabell 5.1 visar den procentuella luftinblandningen för C4 vid respektive tryck. Resultatet baseras på tryckfallsdiagrammet i Bilaga 4. Vid en jämförelse av modul D och C4 avseende både luftinblandning och komfort förstås att det inte är så att mer luftinblandning automatiskt ger bättre komfort. Begreppet komfort är komplext och beror på många olika parametrar vilka inte kan reduceras endast till andelen luftinblandning, även om

andelen inblandad luft påverkar komforten i hög grad. Åter påpekas vikten av att utveckla luftinblandningen tillsammans med duschmunstycket.

*Tabell 5.1. Procentuell luftinblandning för C4.*

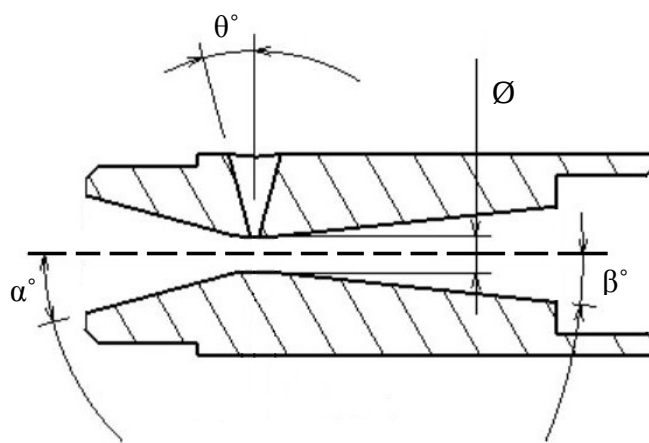
| Tryck [kPa] | Andel luft [%] |
|-------------|----------------|
| 50          | 14,3           |
| 100         | 12,1           |
| 200         | 7,6            |
| 300         | 4,3            |
| 400         | 3,3            |
| 500         | 1,7            |
| 600         | 0,4            |

I projektet har adaptrar använts mellan utloppet på vattenlabbet och duschmunstycket för att det enkelt skulle gå att byta mellan de olika varianterna. Innergeometrin och därmed luftinblandningen påverkas inte av detta. Det är önskvärt att adaptern integreras med duschmunstycket för en mer tilltalande design vid en eventuell fullskalig produktion och sedermera försäljning. Då referensmunstycket har en något komplicerad och opassande geometri i inloppet valdes ett annat duschmunstycke för detta ändamål. Trots att det valda duschmunstycket i sig inte är särskilt väl lämpad för luftinblandning upplevdes en tydlig skillnad på ljudnivån. När luftinblandningen placerades inuti duschmunstycket upplevdes ljudet mycket lägre. Detta anses väldigt positivt.

Figur 5.13 visar det slutliga konceptet C4 som modul. Dess utseende är beroende av duschmunstycket den ska passa i. Innergeometrin är utformad efter de parametervärden som i tidigare avsnitt beskrivits som de bästa och mest lämpliga, se Figur 5.14.



*Figur 5.13. C4 som modul.*



*Figur 5.14. Det slutliga konceptet C4:s parametervärden.*

## 6. SLUTSATS MED DISKUSSION

Det här projektet hade från början sin utgångspunkt i frågeställningen huruvida luftinblandning i handduschar påverkar avsköljningsförmågan. Detta eftersom avsköljningen är själva kärnan i en duschs prestanda. Svaret på frågan gavs dels via ett laboratorietest enligt den svenska energiklassningsstandarden SS820001:2010, och dels via enkätsvaren från användarna som fått utvärdera duschmunstyckena. Laboratorietestet visade att luftinblandningen inte påverkar avsköljningsförmågan, men att den varierar beroende på duschmunstyckets utformning. Användarnas åsikt stämmer inte överens med resultatet från laboratorietestet då munstycket som fick sämst resultat där är användarnas favorit. Det väcker frågan om hur bra avsköljningstestet faktiskt testar det som det är avsett för. En statisk uppställning som sköljer färg ur en trasa i jämförelse med poröst hår och skummande schampo i rörelse. Med denna kritik måste det samtidigt medges att avsköljningsförmågan är ett mycket diffust begrepp som är svårt både att mäta och uppleva. Det är många olika parametrar som spelar in. Anledningen till att användarna föredrog munstycket som blev sist placerat är deras upplevelse av dess höga tryck på vattnet. Sistaplaceringen beror på att munstycket saknar strålar i mitten. Denna egenskap upplevde även vissa av användarna som negativ. Alltså är det något som bör beaktas vid utformningen av ett duschmunstycke, både om man ser på det från energiklassningens håll och användarnas perspektiv.

Då luftinblandningen inte visade sig påverka avsköljningsförmågan ändrades projektets fokus och kom att handla om förståelsen för luftinblandningsprincipen. Bland munstyckena som finns med i det här projektet blandas luften in i vattnet på två olika sätt: antingen via en modul i nederdelen av handtaget eller direkt i silen. Med hjälp av tryckfallsdiagram identifierades tre olika typer av luftinblandning: en konstant mycket låg andel luftinblandning, en inkonsekvent luftinblandning men med något högre andel luft, samt en med hög andel luftinblandning vid 50 kPa som sedan successivt avtar med högre tryck. Användarna noterade all dessa tre typer av luftinblandning och de två första uppskattades inte. Med en inkonsekvent luftinblandning upplevdes strålen som hackig och dessutom gav den ifrån sig ett stressande ljud. Den låga andelen luftinblandning lyckades inte kompensera en begränsat flödesmängd och därmed bibehålla komforten. Med hög luftinblandning vid låga tryck som successivt avtar bibehålls komforten vid alla trycknivåer och en lägre flödesmängd kan användas. På så sätt kan maximalt med vatten och energi sparas utan att komforten påverkas negativt. Nackdelarna med duschmunstycket med bäst tillämpad luftinblandningsprincip är upplevelsen av ett störande ljud och att strålarna kan upplevas som väldigt vassa. Detta påverkar komforten negativt. Fördelarna med de duschmunstycken som fick sämst betyg i användarundersökningen är den mjuka strålbilden samt avsaknaden av oljud. Målet blev således att kombinera dessa tekniker, för att skapa en modul som kompenserar låga tryck lika bra som det bästa duschmunstycket och samtidigt få en lika behaglig strål- och ljudbild som det sämsta.

Genom att skapa adaptrar med olika parametervärden, som har sin utgångspunkt i den bästa befintliga modulen, och utvärdera dem i vattenlabbet kunde slutsatser dras om hur en optimal konstruktion för luftinblandning kan utformas. Venturi-metern är en bra utgångspunkt för en luftinblandningsmodul. Inloppsvinkeln bör vara  $\alpha^\circ$  och utloppsvinkeln  $\beta^\circ$ . Diametern på den

smala sektionen rekommenderas ligga i intervallet e-f och tvärsnittet bör vara genomgående cirkulärt till formen. Luftinblandningen fungerar bäst med ett lufthål som till formen hellre är en kona än en tratt. Konan kan ha vinkeln  $0^\circ$ . Detta är den enda vinkel på konan som prövats i projektet. Utifrån dessa parametrar skapades adaptern C4. Tack vare en väl avvägd luftinblandning erhålls en härlig duschupplevelse även vid lägre tryck med en mjuk och masserande strålbild. Detta gäller då adaptern används tillsammans med referensmunstycket, och är precis en kombination av de bästa egenskaperna från användarundersökningens vinnare och förlorare. Ljudbilden är inte lika knastrig som för den bästa befintliga modulen, men vinandet kvarstår dock. Detta innebär att målet att skapa en förbättrad luftinblandningsmodul har uppnåtts.

För att utvärdera teorin och verkligen förstå principen bakom luftinblandningen gjordes tryckmätningar på fem olika adapterar och modul D. En av adapterarna klarar inte av att blanda in luft. Trycket mättes i inloppet och över den smala sektionen där luften sugas in. Slutsatsen är att tryckdifferensen mellan inloppet och den smala sektionen är avgörande för luftinblandningen, samt storleken på trycket i den smala sektionen. Tryckdifferensen får varken vara för stor eller för liten samtidigt som trycket i den smala sektionen inte får vara alltför högt. Teorin att trycket i den smala sektionen måste vara lägre än atmosfärstrycket och att det är det som är den drivande kraften stämmer inte till fullo överens med mätningarna som gjorts i det här projektet.

Två andra viktiga erfarenheter från det här projektet är att utformningen av duschmunstycket spelar en avgörande roll för luftinblandningen, liksom produktionsvariationer. Det går inte att använda en och samma luftinblandningsmodul i olika duschmunstycken och förvänta sig samma resultat. Vid de test som genomförts med en och samma modul respektive adapter i olika duschmunstycken har resultatet varierat från obefintlig luftinblandning till mycket bra. Inte heller är det så att högsta möjliga andel luftinblandning givet ger bättre komfort, även om andelen inblandad luft påverkar komforten till stor del. Begreppet komfort är mer komplext än så och kan inte reduceras till en enda parameter. Av dessa anledningar är det nödvändigt att luftinblandningen utvecklas tillsammans med duschmunstycket den ska användas i. Det har också visat sig att olika individer av samma modul i samma individ duschmunstycke presterar olika resultat. Detta visar att produktionsprocessen måste hålla en hög och stabil kvalitet för att luftinblandningsmodulernas prestanda ska kunna garanteras, eftersom små variationer kan leda till stora prestationsskillnader.

Resultatet från användarundersökningen sammanfattas med att upplevelsen av ett tillräckligt tryck och flöde är grundläggande för att erhålla god komfort. Människor gillar olika typer av strålbilder; allt från hårt masserande till mjukt och flödande. Gemensamt är att strålbilden inte får vara för smal. På grund av den stora åsiktsvariationen gällande vad som gör duschupplevelsen behaglig, bör duschmunstyckets egenskaper i form av strålbild och funktioner tydligt kommuniceras till kunderna. Gällande designen uppskattas ett balanserat och greppvänligt duschmunstycke mest. Femton personer deltog i undersökningen, varav sju män och åtta kvinnor. Sju var i åldrarna 15-30 år och resterande 41-60 år. Fördelningen representerar

i grova drag hälften av Sveriges befolkning avseende ålder och kön. Ovan dragna slutsatser anses vara generaliserbara då svaren genomgående var likartade för dessa frågor, och urvalet av deltagare representativt för Sverige avseende ålder och kön. Ytterligare en slutsats som kan dras från användarundersökningen är att god komfort kan bibehållas vid låga tryck och flöden om luftinblandning används, men det är inte självklart att resultatet alltid blir så. Luftinblandningstekniken måste vara väl utformad och anpassad till sitt duschmunstycke.

Alla mätningar har gjorts i utvecklingslaboratoriet på FM Mattsson Mora Group AB i Mora. Laboratoriet håller samma standard som certifieringsinstitutet och därför anses mätningarna tillförlitliga. Det bör påpekas att då testerna genomförts med adaptrar utskrivna från en 3D-skrivare som ger en grov ytfinhet och stora produktionsvariationer, kan inte de rekommenderade parametervärdena garanteras stämma för någon annan typ av material eller ytfinhet. För att verifiera att resultatet blir det samma bör ytterligare tester genomföras med prototyper i det material och med den ytfinhet som används vid fullskalig produktion. Resultaten från den här undersökningen används lämpligen som utgångspunkt. Förståelsen för principen bakom luftinblandningen anses dock trovärdig eftersom resultaten stämmer väl överens om adaptrar och fabriksproducerad modul jämförs.

Vid en fortsättning på det här projektet rekommenderas att längden på den smala sektionen samt lufthålets exakta placering och utformning undersöks närmare. Undersökningen har fördelaktigt både teoretisk och experimentell karaktär, där experimenten syftar till att bekräfta teorin. Likaså bör en ansats göras för att eliminera det obehagliga ljudet luftinblandningen orsakar. För att direkt öka kundvärdet bör det undersökas hur läckaget som blir ur lufthålen vid avstängning av duschen kan förhindras. Vidare skulle det vara intressant att studera vad i duschmunstyckets utformning som påverkar luftinblandningen, liksom hur silen kan utformas för att ge olika strålbilder men samma effekt av luftinblandningen. I det här projektet har en grundläggande förståelse för luftinblandningens princip erhållits, men exakta gränsvärden bör undersökas för att få en djupare förståelse. Dessutom rekommenderas att tekniken bakom andra typer av luftinblandningsmetoder, till exempel den som blandar luften genom silen, undersöks närmare för att få en större helhetsbild.

## 7. REFERENSER

1. Swedish Standards Institute. SS 820001:2010: *Sanitetsarmatur – Metod för att bestämma energieffektivitet hos termostatblandare med dusch*. Stockholm: SIS Förlag AB.
2. Gao, A.S. Khanna, K. Sen, B. Yu, L.L. (2014) *An investigation into campus water conservation – low flow shower heads* (APSC 262 Sustainability project report, University of British Columbia, Social Ecological Economic Development Studies).  
<https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/undergraduateresearch/18861/items/1.0108775>  
(Acc. 2016-02-28)
3. Chen, B. Teng, W. (2014) *An investigation into low-flow shower heads in place Vaniers' Tec de Monterrey residence* (APSC 261 Investigation report, University of British Columbia, Social Ecological Economic Development Studies).  
<https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/undergraduateresearch/18861/items/1.0108766>  
(Acc. 2016-02-28)
4. Okamoto, M., Yaita, R., Sato, M., Kamijo, M., Toyosada, K., Shimizu, Y., ... Cheng, C.L. (2015). Comparison of the Physical Properties of Showers that the Satisfaction of Shower Feeling among Users in Three Asian Countries. *Water*, 7, 4161-4174. doi:10.3390/w7084161
5. Australian Standards. AS 3662-2013. *Performance of showers for bathing*. Sydney: SAI Global.
6. Oras Ltd. *Oras Hydra: Upplev känslan från en extra stor dusch, behaglig som ett stilla regn*. <http://www.oras.com/se/consumer/NewsEvents/Pages/OrasHydra.aspx> (Acc. 2016-02-28)
7. Hansgrohe. *Hur duschar du helst?* [http://select.hansgrohe.se/lang/se\\_sv/content2.php](http://select.hansgrohe.se/lang/se_sv/content2.php) (Acc. 2016-02-28)
8. EUnited valves. *WELL – Water Efficiency Labelling: Classification Scheme 01.01.2016*. <http://www.well-online.eu> (Acc. 2016-05-18)
9. The Water Label Company Ltd. *The European Water Label: Industry Scheme January 2015*. <http://europeanwaterlabel.eu/pdf/schemeandtesting.pdf> (Acc. 2016-05-18)
10. Hansson, B. (2010). *Perspektiv på kvalitativ metod*. | Allwood, C.M. (red.), *Perspektiv på kvalitativ metod* (s. 53-62). Upplaga 1:2. Malmö: Holmbergs.
11. Svensson, L. (2010). *Forskningsmetoders analytiska och kontextuella kvaliteter*. | Allwood, C.M. (red.), *Perspektiv på kvalitativ metod* (s. 65-94). Upplaga 1:2. Malmö: Holmbergs.
13. Boysen, H. (2011) *Technical paper: k<sub>v</sub>: what, why, how, whence?*  
[http://heating.danfoss.com/PCMPDF/VFHBG202\\_kv.pdf](http://heating.danfoss.com/PCMPDF/VFHBG202_kv.pdf) (Acc. 2016-06-02)

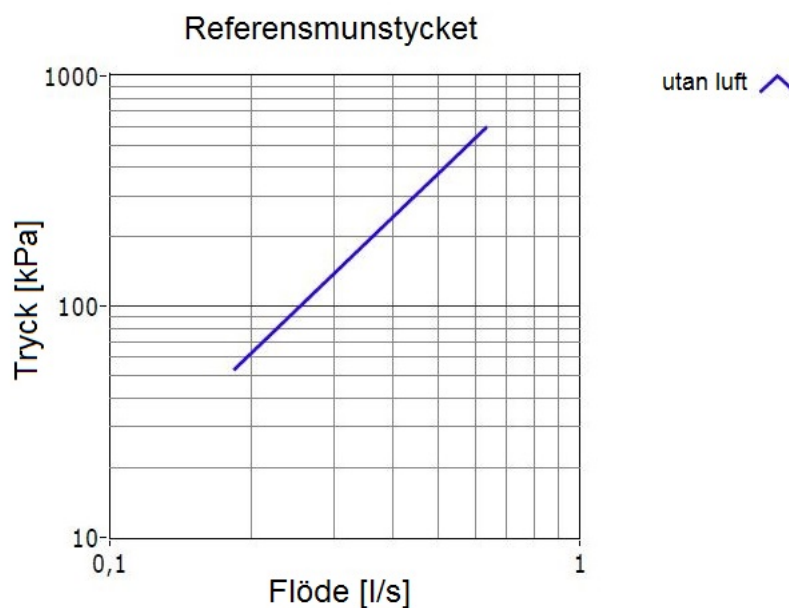
14. Cengel, Y. A. Cimbala, J. M. Turner, R.H. (2012) *Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences: Fourth Edition in SI Units*. Singapore: Mc Graw Hill.
15. Lindstedt, P. Burenius, J. (2006) *The Value Model: How to master product development and create unrivalled customer value*. Sverige: Nimba AB.
16. Patel, R. Davidsson, B. (2011) *Forskningsmetodikens grunder: Att planera, genomföra och rapportera en undersökning*. Upplaga 4:1. Lund: Studentlitteratur AB.
17. Statistiska Centralbyrån. (2015) *Statistik för alla 2015/2016*.  
[http://www.scb.se/Grupp/Klassrummet/\\_Dokument/Statistik-for-alla/Statistik-for-alla-2015.pdf](http://www.scb.se/Grupp/Klassrummet/_Dokument/Statistik-for-alla/Statistik-for-alla-2015.pdf) (Acc. 2016-01-14).
20. White, F. M. (2011) *Fluid Mechanics: Seventh Edition in SI Units*. Singapore: Mc Graw Hill.

## 7.1 Personreferenser

12. Ernest Lamani, ansvarig utvecklingslaboratoriet, FM Mattsson Mora Group AB, Mora.
18. Björn Wrahme, produktutvecklingsingenjör, FM Mattsson Mora Group AB, Mora.
19. Alexandre Capitao Patrao, doktorand vid Institutionen för Tillämpad Mekanik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.

## BILAGA 1 – Tryckfallsdiagram för respektive duschmunstycke

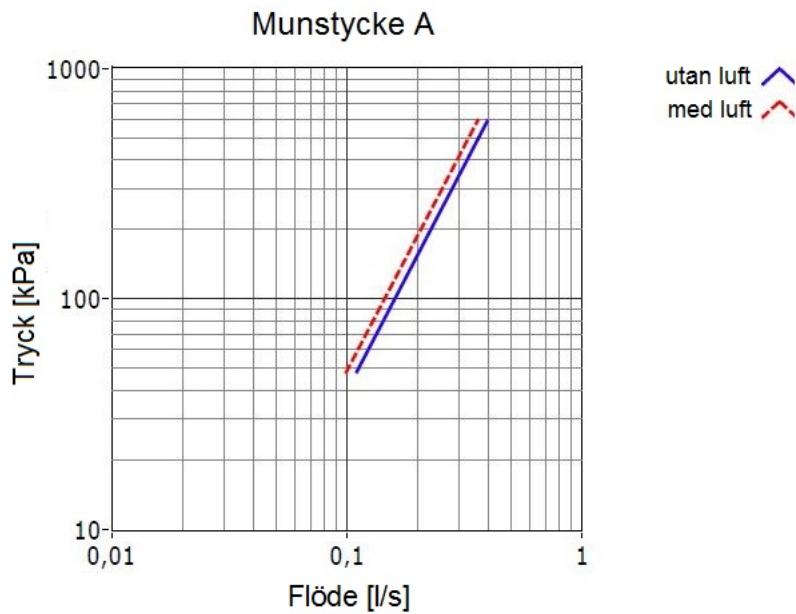
Tryckfallsdiagrammen visar relationen mellan flödesmängd och tryck, med respektive utan luftinblandning, för munstycke A, B, C, D och E samt tryckfallsdiagrammet för referensmunstycket utan luftinblandning. I respektive tabell presenteras dess relaterade data.



Figur 1. Tryckfallsdiagram för referensmunstycket.

Tabell 1. Data relaterad till tryckfallsdiagrammet i Figur 1.

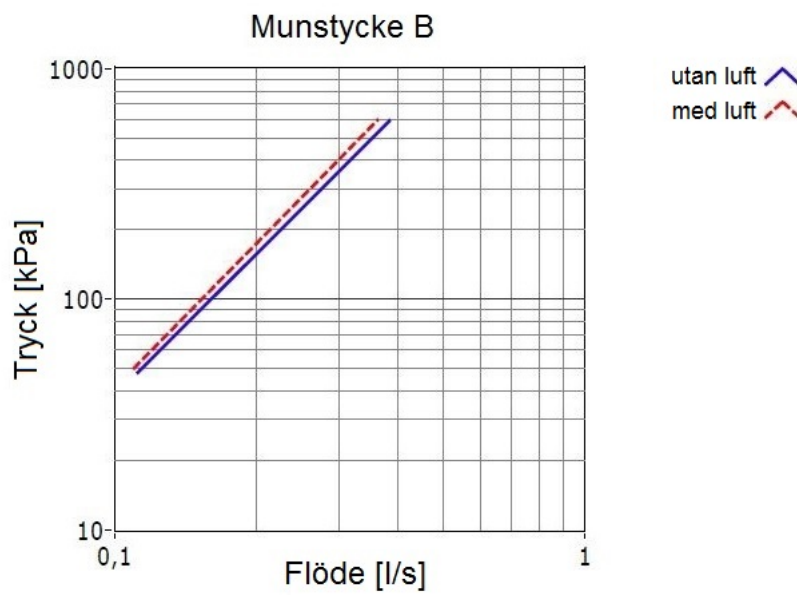
| Utan luft |       |         |
|-----------|-------|---------|
| Tryck     | Flöde | Flöde   |
| [kPa]     | [l/s] | [l/min] |
| 50        | 0,184 | 11,0    |
| 100       | 0,255 | 15,3    |
| 200       | 0,361 | 21,7    |
| 300       | 0,444 | 26,6    |
| 400       | 0,515 | 30,9    |
| 500       | 0,577 | 34,6    |
| 600       | 0,633 | 38,0    |



Figur 2. Tryckfallsdiagram för munstycke A.

Tabell 2. Data relaterad till tryckfallsdiagrammet i Figur 2.

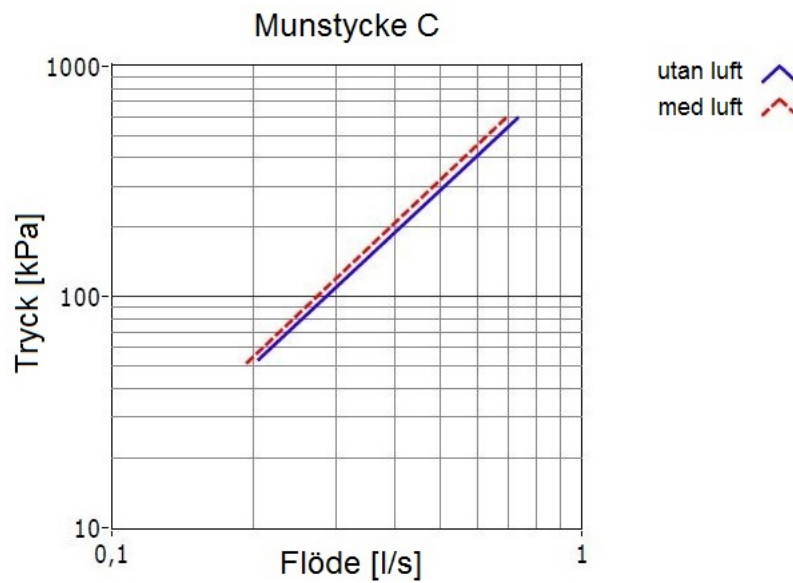
| Utan luft |       |         |  | Med luft |       |         |
|-----------|-------|---------|--|----------|-------|---------|
| Tryck     | Flöde | Flöde   |  | Tryck    | Flöde | Flöde   |
| [kPa]     | [l/s] | [l/min] |  | [kPa]    | [l/s] | [l/min] |
| 50        | 0,109 | 6,6     |  | 50       | 0,099 | 5,9     |
| 100       | 0,160 | 9,6     |  | 100      | 0,146 | 8,8     |
| 200       | 0,226 | 13,5    |  | 200      | 0,205 | 12,3    |
| 300       | 0,278 | 16,7    |  | 300      | 0,252 | 15,1    |
| 400       | 0,324 | 19,4    |  | 400      | 0,293 | 17,6    |
| 500       | 0,363 | 21,8    |  | 500      | 0,329 | 19,8    |
| 600       | 0,397 | 23,8    |  | 600      | 0,361 | 21,7    |



Figur 3. Tryckfallsdiagram för munstycke B.

Tabell 3. Data relaterad till tryckfallsdiagrammet i Figur 3.

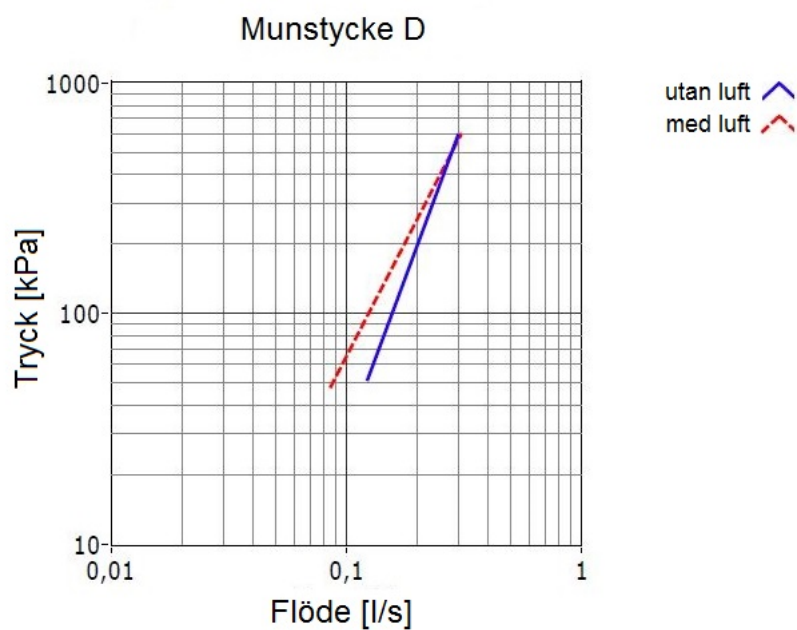
| Utan luft |       |         | Med luft |       |         |
|-----------|-------|---------|----------|-------|---------|
| Tryck     | Flöde | Flöde   | Tryck    | Flöde | Flöde   |
| [kPa]     | [l/s] | [l/min] | [kPa]    | [l/s] | [l/min] |
| 50        | 0,111 | 6,7     | 50       | 0,109 | 6,6     |
| 100       | 0,159 | 9,6     | 100      | 0,152 | 9,1     |
| 200       | 0,226 | 13,6    | 200      | 0,213 | 12,8    |
| 300       | 0,275 | 16,5    | 300      | 0,260 | 15,6    |
| 400       | 0,317 | 19,0    | 400      | 0,298 | 17,9    |
| 500       | 0,352 | 21,1    | 500      | 0,331 | 19,9    |
| 600       | 0,385 | 23,1    | 600      | 0,363 | 21,8    |



Figur 4. Tryckfallsdiagram för munstycke C.

Tabell 4. Data relaterad till tryckfallsdiagrammet i Figur 4.

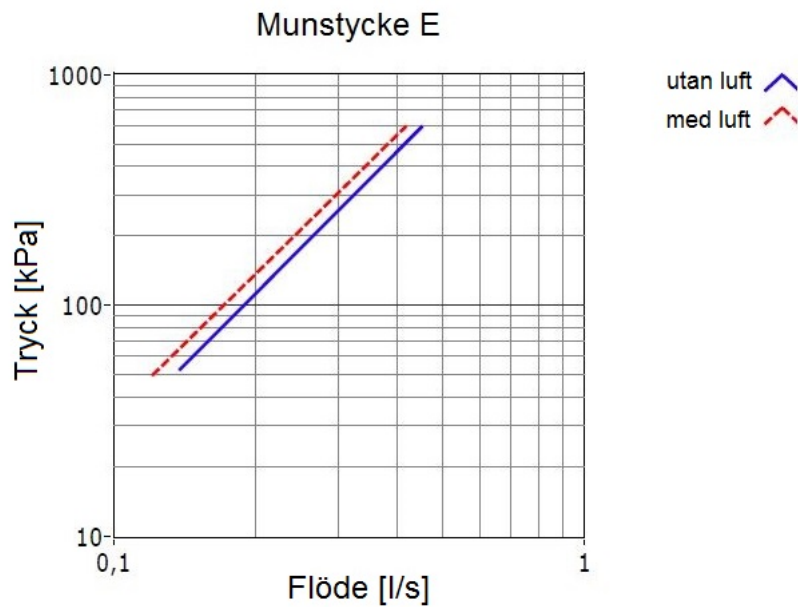
| Utan luft |       |         |  | Med luft |       |         |
|-----------|-------|---------|--|----------|-------|---------|
| Tryck     | Flöde | Flöde   |  | Tryck    | Flöde | Flöde   |
| [kPa]     | [l/s] | [l/min] |  | [kPa]    | [l/s] | [l/min] |
| 50        | 0,204 | 12,3    |  | 50       | 0,193 | 11,6    |
| 100       | 0,284 | 17,1    |  | 100      | 0,277 | 16,6    |
| 200       | 0,414 | 24,8    |  | 200      | 0,390 | 23,4    |
| 300       | 0,508 | 30,5    |  | 300      | 0,482 | 28,9    |
| 400       | 0,594 | 35,6    |  | 400      | 0,559 | 33,6    |
| 500       | 0,667 | 40,0    |  | 500      | 0,629 | 37,7    |
| 600       | 0,732 | 43,9    |  | 600      | 0,689 | 41,3    |



Figur 5. Tryckfallsdiagram för munstycke D.

Tabell 5. Data relaterad till tryckfallsdiagrammet i Figur 5.

| Utan luft |       |         | Med luft |       |         |
|-----------|-------|---------|----------|-------|---------|
| Tryck     | Flöde | Flöde   | Tryck    | Flöde | Flöde   |
| [kPa]     | [l/s] | [l/min] | [kPa]    | [l/s] | [l/min] |
| 50        | 0,122 | 7,3     | 50       | 0,085 | 5,1     |
| 100       | 0,157 | 9,4     | 100      | 0,124 | 7,5     |
| 200       | 0,201 | 12,0    | 200      | 0,175 | 10,5    |
| 300       | 0,233 | 14,0    | 300      | 0,216 | 13,0    |
| 400       | 0,257 | 15,4    | 400      | 0,249 | 14,9    |
| 500       | 0,280 | 16,8    | 500      | 0,279 | 16,7    |
| 600       | 0,299 | 17,9    | 600      | 0,307 | 18,4    |



Figur 6. Tryckfallsdiagram för munstycke E.

Tabell 6. Data relaterad till tryckfallsdiagrammet i Figur 6.

| Utan luft |       |         |  | Med luft |       |         |
|-----------|-------|---------|--|----------|-------|---------|
| Tryck     | Flöde | Flöde   |  | Tryck    | Flöde | Flöde   |
| [kPa]     | [l/s] | [l/min] |  | [kPa]    | [l/s] | [l/min] |
| 50        | 0,138 | 8,3     |  | 50       | 0,121 | 7,2     |
| 100       | 0,191 | 11,5    |  | 100      | 0,171 | 10,2    |
| 200       | 0,267 | 16,0    |  | 200      | 0,241 | 14,4    |
| 300       | 0,323 | 19,4    |  | 300      | 0,296 | 17,8    |
| 400       | 0,371 | 22,3    |  | 400      | 0,342 | 20,5    |
| 500       | 0,415 | 24,9    |  | 500      | 0,381 | 22,9    |
| 600       | 0,452 | 27,1    |  | 600      | 0,418 | 25,1    |

## BILAGA 2 – Pugh-matriser

I den här bilagan återfinns Pugh-matriserna för respektive svarande i användarundersökningen. Indexet AX i rubriken på respektive matris indikerar vilken användare som svarat. Detta för att matriserna ska kunna kopplas till citaten i Bilaga 3 om så önskas. Pugh-matriserna presenteras här för att erbjuda en djupare förståelse för resultaten från användarundersökningen. Skalan som användes vid betygsättningen är följande:

+2 mycket bättre    +1 något bättre    0 lika    -1 något sämre    -2 mycket sämre

Tabell 1. Pugh-matris ifylld av användare 1 (A1).

| Pugh-matris A1                        |   |    |    |    |    |    |
|---------------------------------------|---|----|----|----|----|----|
|                                       | R | A  | B  | C  | D  | E  |
| Upplevelsen av strålbilden            | E | -1 | -1 | -2 | 0  | -2 |
| Upplevelsen av ljudet                 | F | -2 | 0  | 0  | -1 | 0  |
| Upplevelsen av ursköljning av schampo | E | 0  | 0  | -2 | 0  | -1 |
| Känslan av att hålla i munstycket     | R | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  |
| Upplevelsen av design/formgivning     | E | 1  | 1  | -1 | -1 | 2  |
| Munstyckets vikt                      | N | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Allmän upplevelse                     | S | -1 | 1  | -2 | 1  | -1 |
| Summa +                               | 0 | 2  | 2  | 0  | 1  | 3  |
| Summa -                               | 0 | -4 | -1 | -7 | -2 | -4 |
| Totalsumma:                           | 0 | -2 | 1  | -7 | -1 | -1 |

Tabell 2. Pugh-matris ifylld av användare 2 (A2).

| Pugh-matris A2                        |   |   |   |    |    |    |
|---------------------------------------|---|---|---|----|----|----|
|                                       | R | A | B | C  | D  | E  |
| Upplevelsen av strålbilden            | E | 1 | 1 | -2 | 2  | -1 |
| Upplevelsen av ljudet                 | F | 0 | 0 | 0  | -2 | 0  |
| Upplevelsen av ursköljning av schampo | E | 1 | 1 | -2 | 1  | -1 |
| Känslan av att hålla i munstycket     | R | 0 | 0 | -1 | -2 | -2 |
| Upplevelsen av design/formgivning     | E | 0 | 1 | 0  | 0  | -1 |
| Munstyckets vikt                      | N | 0 | 0 | 0  | -2 | -1 |
| Allmän upplevelse                     | S | 1 | 0 | -2 | 1  | -1 |
| Summa +                               | 0 | 3 | 3 | 0  | 4  | 0  |
| Summa -                               | 0 | 0 | 0 | -7 | -6 | -7 |
| Totalsumma:                           | 0 | 3 | 3 | -7 | -2 | -7 |

Tabell 3. Pugh-matris ifylld av användare 3 (A3).

| Pugh-matris A3                        |   |   |   |   |    |   |
|---------------------------------------|---|---|---|---|----|---|
|                                       | R | A | B | C | D  | E |
| Upplevelsen av strålbilden            | E | 1 | 2 | 0 | 2  | 2 |
| Upplevelsen av ljudet                 | F | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 |
| Upplevelsen av ursköljning av schampo | E | 0 | 2 | 0 | 2  | 2 |
| Känslan av att hålla i munstycket     | R | 2 | 2 | 0 | 2  | 1 |
| Upplevelsen av design/formgivning     | E | 2 | 2 | 0 | 2  | 2 |
| Munstyckets vikt                      | N | 1 | 1 | 0 | 2  | 2 |
| Allmän upplevelse                     | S |   |   |   |    |   |
| Summa +                               | 0 | 6 | 9 | 0 | 10 | 9 |
| Summa -                               | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 |
| Totalsumma:                           | 0 | 6 | 9 | 0 | 10 | 9 |

Tabell 4. Pugh-matris ifylld av användare 4 (A4).

| Pugh-matris A4                        |   |    |    |    |    |    |
|---------------------------------------|---|----|----|----|----|----|
|                                       | R | A  | B  | C  | D  | E  |
| Upplevelsen av strålbilden            | E | -1 | 1  | 0  | -1 | 1  |
| Upplevelsen av ljudet                 | F | -2 | 0  | 1  | -2 | 1  |
| Upplevelsen av ursköljning av schampo | E | 2  | 2  | -1 | 2  | 1  |
| Känslan av att hålla i munstycket     | R | 1  | -2 | 1  | 1  | -2 |
| Upplevelsen av design/formgivning     | E | 0  | -1 | 1  | 1  | 0  |
| Munstyckets vikt                      | N | -1 | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Allmän upplevelse                     | S | -1 | 0  | 1  | -1 | 1  |
| Summa +                               | 0 | 3  | 3  | 4  | 4  | 4  |
| Summa -                               | 0 | -5 | -3 | -1 | -4 | -2 |
| Totalsumma:                           | 0 | -2 | 0  | 3  | 0  | 2  |

Tabell 5. Pugh-matris ifylld av användare 5 (A5).

| Pugh-matris A5                        |   |    |    |    |    |    |
|---------------------------------------|---|----|----|----|----|----|
|                                       | R | A  | B  | C  | D  | E  |
| Upplevelsen av strålbilden            | E | 0  | 1  | 0  | 2  | -1 |
| Upplevelsen av ljudet                 | F | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 |
| Upplevelsen av ursköljning av schampo | E | -1 | 0  | 1  | 2  | 0  |
| Känslan av att hålla i munstycket     | R | -1 | -1 | -1 | 0  | -1 |
| Upplevelsen av design/formgivning     | E | -1 | 1  | -1 | 1  | 0  |
| Munstyckets vikt                      | N | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  |
| Allmän upplevelse                     | S | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 |
| Summa +                               | 0 | 0  | 4  | 2  | 6  | 1  |
| Summa -                               | 0 | -5 | -1 | -3 | -1 | -4 |
| Totalsumma:                           | 0 | -5 | 3  | -1 | 5  | -3 |

Tabell 6. Pugh-matris ifylld av användare 6 (A6).

| Pugh-matris A6                        |   |    |    |    |    |    |
|---------------------------------------|---|----|----|----|----|----|
|                                       | R | A  | B  | C  | D  | E  |
| Upplevelsen av strålbilden            | E | -2 | -1 | -2 | 1  | -2 |
| Upplevelsen av ljudet                 | F | 0  | 0  | 0  | -1 | -1 |
| Upplevelsen av ursköljning av schampo | E | -2 | 1  | -1 | 1  | -1 |
| Känslan av att hålla i munstycket     | R | 0  | -2 | 0  | -1 | -1 |
| Upplevelsen av design/formgivning     | E | 1  | 1  | 1  | 1  | -1 |
| Munstyckets vikt                      | N | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Allmän upplevelse                     | S | -2 | 0  | -2 | 1  | -2 |
| Summa +                               | 0 | 1  | 2  | 1  | 4  | 0  |
| Summa -                               | 0 | -6 | -3 | -5 | -2 | -8 |
| Totalsumma:                           | 0 | -5 | -1 | -4 | 2  | -8 |

Tabell 7. Pugh-matris ifylld av användare 7 (A7).

| Pugh-matris A7                        |   |    |    |    |    |    |
|---------------------------------------|---|----|----|----|----|----|
|                                       | R | A  | B  | C  | D  | E  |
| Upplevelsen av strålbilden            | E | -1 | 1  | -2 | -1 | 1  |
| Upplevelsen av ljudet                 | F | -1 | 0  | 0  | -2 | 0  |
| Upplevelsen av ursköljning av schampo | E | -1 | 0  | -2 | -1 | 0  |
| Känslan av att hålla i munstycket     | R | 0  | -1 | 0  | -1 | -2 |
| Upplevelsen av design/formgivning     | E | 2  | 2  | 2  | 1  | 2  |
| Munstyckets vikt                      | N | -1 | -1 | 0  | -2 | 0  |
| Allmän upplevelse                     | S | -2 | -1 | -2 | -1 | -1 |
| Summa +                               | 0 | 2  | 3  | 2  | 1  | 3  |
| Summa -                               | 0 | -6 | -3 | -6 | -8 | -3 |
| Totalsumma:                           | 0 | -4 | 0  | -4 | -7 | 0  |

Tabell 8. Pugh-matris ifylld av användare 8 (A8).

| Pugh-matris A8                        |   |    |    |    |    |    |
|---------------------------------------|---|----|----|----|----|----|
|                                       | R | A  | B  | C  | D  | E  |
| Upplevelsen av strålbilden            | E | -2 | -1 | -1 | 0  | -1 |
| Upplevelsen av ljudet                 | F | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Upplevelsen av ursköljning av schampo | E | -1 | -1 | -1 | 0  | -2 |
| Känslan av att hålla i munstycket     | R | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 |
| Upplevelsen av design/formgivning     | E | 0  | -1 | -2 | -1 | -1 |
| Munstyckets vikt                      | N | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Allmän upplevelse                     | S | -1 | -1 | -1 | 1  | -1 |
| Summa +                               | 0 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  |
| Summa -                               | 0 | -4 | -5 | -6 | -2 | -6 |
| Totalsumma:                           | 0 | -4 | -5 | -6 | -1 | -6 |

Tabell 9. Pugh-matris ifylld av användare 19 (A9).

| <b>Pugh-matris A9</b>                 |   |    |    |    |    |    |
|---------------------------------------|---|----|----|----|----|----|
|                                       | R | A  | B  | C  | D  | E  |
| Upplevelsen av strålbilden            | E | -2 | -2 | -2 | 1  | -2 |
| Upplevelsen av ljudet                 | F | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Upplevelsen av ursköljning av schampo | E | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| Känslan av att hålla i munstycket     | R | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Upplevelsen av design/formgivning     | E | 2  | 1  | 1  | 2  | 1  |
| Munstyckets vikt                      | N | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| Allmän upplevelse                     | S | -2 | -1 | -2 | -1 | -2 |
| Summa +                               | 0 | 2  | 1  | 1  | 3  | 1  |
| Summa -                               | 0 | -6 | -5 | -6 | -3 | -6 |
| Totalsumma:                           | 0 | -4 | -4 | -5 | 0  | -5 |

Tabell 10. Pugh-matris ifylld av användare 10 (A10).

| <b>Pugh-matris A10</b>                |   |    |    |    |   |    |
|---------------------------------------|---|----|----|----|---|----|
|                                       | R | A  | B  | C  | D | E  |
| Upplevelsen av strålbilden            | E | -1 | 0  | -2 | 1 | 0  |
| Upplevelsen av ljudet                 | F | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  |
| Upplevelsen av ursköljning av schampo | E | -1 | -1 | -2 | 0 | -1 |
| Känslan av att hålla i munstycket     | R | 0  | 0  | 0  | 1 | 0  |
| Upplevelsen av design/formgivning     | E | 1  | 0  | 1  | 1 | 1  |
| Munstyckets vikt                      | N | 1  | 0  | 0  | 1 | 0  |
| Allmän upplevelse                     | S | -2 | -2 | -2 | 0 | 0  |
| Summa +                               | 0 | 2  | 0  | 1  | 4 | 1  |
| Summa -                               | 0 | -4 | -3 | -6 | 0 | -1 |
| Totalsumma:                           | 0 | -2 | -3 | -5 | 4 | 0  |

Tabell 11. Pugh-matris ifylld av användare 11 (A11).

| <b>Pugh-matris A11</b>                |   |   |    |    |   |    |
|---------------------------------------|---|---|----|----|---|----|
|                                       | R | A | B  | C  | D | E  |
| Upplevelsen av strålbilden            | E | 0 | 0  | 0  | 1 | 0  |
| Upplevelsen av ljudet                 | F | 0 | 0  | 0  | 0 | 0  |
| Upplevelsen av ursköljning av schampo | E | 1 | 0  | -1 | 2 | -1 |
| Känslan av att hålla i munstycket     | R | 0 | 0  | 1  | 1 | 0  |
| Upplevelsen av design/formgivning     | E | 0 | -1 | 0  | 0 | -1 |
| Munstyckets vikt                      | N | 0 | 0  | 0  | 0 | 0  |
| Allmän upplevelse                     | S | 1 | 0  | 0  | 2 | 0  |
| Summa +                               | 0 | 2 | 0  | 1  | 6 | 0  |
| Summa -                               | 0 | 0 | -1 | -1 | 0 | -2 |
| Totalsumma:                           | 0 | 2 | -1 | 0  | 6 | -2 |

Tabell 12. Pugh-matris ifylld av användare 12 (A12).

| <b>Pugh-matris A12</b>                |   |   |    |   |    |    |
|---------------------------------------|---|---|----|---|----|----|
|                                       | R | A | B  | C | D  | E  |
| Upplevelsen av strålbilden            | E | 1 | 1  | 1 | 2  | 1  |
| Upplevelsen av ljudet                 | F | 0 | 0  | 0 | 0  | 0  |
| Upplevelsen av ursköljning av schampo | E | 1 | 1  | 2 | 2  | 2  |
| Känslan av att hålla i munstycket     | R | 0 | -1 | 2 | -1 | -1 |
| Upplevelsen av design/formgivning     | E | 0 | 1  | 2 | 1  | 1  |
| Munstyckets vikt                      | N | 0 | 0  | 0 | 0  | 0  |
| Allmän upplevelse                     | S | 1 | 1  | 1 | 2  | 1  |
| Summa +                               | 0 | 3 | 4  | 8 | 7  | 5  |
| Summa -                               | 0 | 0 | -1 | 0 | -1 | -1 |
| Totalsumma:                           | 0 | 3 | 3  | 8 | 6  | 4  |

Tabell 13. Pugh-matris ifylld av användare 13 (A13).

| <b>Pugh-matris A13</b>                |   |   |    |    |   |    |
|---------------------------------------|---|---|----|----|---|----|
|                                       | R | A | B  | C  | D | E  |
| Upplevelsen av strålbilden            | E | 1 | 0  | -1 | 2 | -2 |
| Upplevelsen av ljudet                 | F | 0 | 0  | 0  | 0 | 0  |
| Upplevelsen av ursköljning av schampo | E | 1 | 0  | 1  | 2 | 1  |
| Känslan av att hålla i munstycket     | R | 0 | 0  | -1 | 0 | -1 |
| Upplevelsen av design/formgivning     | E | 1 | 0  | -1 | 1 | -1 |
| Munstyckets vikt                      | N | 0 | -1 | 0  | 0 | 0  |
| Allmän upplevelse                     | S | 1 | 0  | -1 | 2 | -1 |
| Summa +                               | 0 | 4 | 0  | 1  | 7 | 1  |
| Summa -                               | 0 | 0 | -1 | -4 | 0 | -5 |
| Totalsumma:                           | 0 | 4 | -1 | -3 | 7 | -4 |

Tabell 14. Pugh-matris ifylld av användare 14 (A14).

| <b>Pugh-matris A14</b>                |   |    |   |    |    |    |
|---------------------------------------|---|----|---|----|----|----|
|                                       | R | A  | B | C  | D  | E  |
| Upplevelsen av strålbilden            | E | -2 | 0 | 1  | -2 | -1 |
| Upplevelsen av ljudet                 | F | -2 | 0 | 0  | -2 | 0  |
| Upplevelsen av ursköljning av schampo | E | 0  | 0 | 0  | -2 | -1 |
| Känslan av att hålla i munstycket     | R | 0  | 2 | -2 | 0  | -2 |
| Upplevelsen av design/formgivning     | E | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  |
| Munstyckets vikt                      | N | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  |
| Allmän upplevelse                     | S | -2 | 0 | 0  | -2 | -1 |
| Summa +                               | 0 | 0  | 2 | 1  | 0  | 0  |
| Summa -                               | 0 | -6 | 0 | -2 | -8 | -5 |
| Totalsumma:                           | 0 | -6 | 2 | -1 | -8 | -5 |

Tabell 15. Pugh-matris ifylld av användare 15 (A15).

| <b>Pugh-matris A15</b>                |   |    |    |    |    |    |
|---------------------------------------|---|----|----|----|----|----|
|                                       | R | A  | B  | C  | D  | E  |
| Upplevelsen av strålbilden            | E | -1 | 0  | -1 | 2  | 1  |
| Upplevelsen av ljudet                 | F | -2 | 0  | -1 | -1 | -1 |
| Upplevelsen av ursköljning av schampo | E | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Känslan av att hålla i munstycket     | R | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Upplevelsen av design/formgivning     | E | 0  | -1 | 0  | 0  | 0  |
| Munstyckets vikt                      | N | -1 | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Allmän upplevelse                     | S | 0  | 0  | -1 | 1  | 0  |
| Summa +                               | 0 | 0  | 0  | 0  | 3  | 1  |
| Summa -                               | 0 | -4 | -1 | -3 | -1 | -1 |
| Totalsumma:                           | 0 | -4 | -1 | -3 | 2  | 0  |

## BILAGA 3 – Citat från användarundersökningen

Denna bilaga visar ett urval av citaten från användarundersökningen. Detta för att läsaren ska kunna få en djupare förståelse för varifrån resultaten i avsnitt 4.3 Optimal komfort enligt användarundersökningen kommer ifrån.

### Referensmunstycket

Användarnas bedömning av referensmunstyckets prestanda är splittrad. Det har fått både positiva och negativa kommentarer. Detta illustreras nedan genom citat från användare 1 och 14 (A1 och A14) för frågan om deras upplevelse av vattenflödet.

*”Lite dåligt mot vad jag tycker om och är van vid.”*

*”Bra. Ymnigt, lagom spridning.”*

Åsikterna går isär på samma sätt när det kommer till upplevelsen av strålbilden. Användare 7 och 11 (A7 och A11) uttrycker sig så här:

*”Lite för smal, vilket gör att man inte får vatten över hela kroppen och det känns lite kallt. Men bra med täta strålar.”*

*”Jag tycker att strålbilden är skön för att den är mjuk, men tyvärr lite för mjuk. Jag tycker om att den sprider sig.”*

Vidare gällande upplevelsen av munstyckets prestanda vid ursköljning av schampo är svaren lika tudelade. Detta exemplifieras genom svaren från användare 4 och 11 (A4 och A11).

*”Det var lite segt och tog ganska lång tid.”*

*”För mig gick det helt okej, ganska bra faktiskt att skölja ur schampo + balsam.”*

När det kommer till upplevelsen av ljudet är dock användarna enade. Det upplevs inte som något problem alls. Användare 10 (A10) uttrycker sig på ett typiskt sätt:

*”Tänker ej på ljudet.”*

Referensmunstycket fick goda omdömen avseende dess utformning och beskrivs av användare 11 och 13 (A11 och A13).

*”Jag tycker om att det är lite rundat men ändå ovalt format med kanter. Jag gillade att hålla i det.”*

*”Lagom tungt och ganska sköna former för handen (mjuka linjer).”*

### Munstycke A

Användare 14 (A14) fångar i sin kommentar om munstycke A den allmänna uppfattningen om dess upplevelse:

*”Inte så tillfredsställande som man kunde önska.”*

Användarna reagerar verkligen på effekten av de olika typerna av luftinblandning. För munstycke A, som konstaterades ha en mycket inkonsekvent luftinblandning, beskrivs upplevelsen av vattenflödet så här av användare 4 och 14 (A4 och A14):

*”Ojämnt, det var hackigt/pulserande.”*

*”Lite instabilt. Ryckigt och liksom hostande. Dålig spridning på strålarna.”*

På samma sätt beskrivs ljudet av användare 9 och 14 (A9 och A14).

*”Spruttande/som om det kommer för dåligt med vatten.”*

*”Hostande och spruttigt. Lite irriterande.”*

Utformningen av munstycke A får i allmänhet positiva omdömen. Användare 3 (A3) beskriver känslan av att hålla i det och användare 9 (A9) beskriver dess design:

*”Skönt, lagom”*

*”Ganska fint ändå.”*

## **Munstycke B**

Munstycke B blandar knappt i någon luft och det är därför inte förvånansvärt att det får ungefär samma betyg som referensmunstycket. Upplevelsen av ursköljning av schampo beskrivs av användare 6 (A6).

*”Hyfsat bra, likvärdig med referens.”*

Det finns givetvis också åsikter i de båda extremlägena. Användare 2 (A2) är mycket negativ medan användare 12 (A12) är positiv.

*”Schampot försvinner ju aldrig. Hade varit mer effektivt att stoppa huvudet i en hink.”*

*”Sköljer bra, mycket vatten.”*

Användare 15 (A15) är tydlig när det kommer till upplevelsen av ljudbilden och de flesta av användarna håller med.

*”Som en dusch brukar låta.”*

Den allmänna upplevelsen av munstycke B sammanfattas av användare 14 (A14):

*”Ett förhållandevis bra munstycke.”*

Användare 5 (A5) tycker om munstycke Bs proportioner, men inte formen. Det stämmer väl överens med övriga svarandes åsikt.

*”Bra balans, vilket gör att huvuddelen inte känns för stor. Lite kantigt handtag är något negativt.”*

### **Munstycke D**

Den allmänna upplevelsen av munstycke D beskrivs med hjälp av användare 10 (A10):

*”Nöjd.”*

Alla håller inte med även om majoriteten gör det. Till exempel anser användare 4 (A4) att den allmänna upplevelsen av munstycke D är som följer:

*”Störande ljud, obehagligt pulserande stråle. Blankt och halkigt men rätt okej att använda.”*

Munstycke D har den mest effektiva luftinblandningen och det är också det enda duschmunstycke som får riktigt bra betyg av användarna gällande prestandan. Det bekräftas genom kommentarerna som användarna lämnat. Användarna är eniga kring upplevelsen av vattenflödet. Denna exemplifieras med hjälp av citat från användare 5 (A5).

*”Som mkt bättre än med de tidigare munstyckena.”*

Strålbilden får i allmänhet positiva omdömen. Användare 5 (A5) uttrycker det på ett tydligt sätt.

*”Bred stråle tillsammans med tillräckligt tryck ger bra komfort.”*

Kritik riktas också mot strålbilden. Användare 1 och 14 (A1 och A14) visar på att det finns förbättringspotential.

*”Kunde koncentrerat strålarna till mitten. Hade gjort det mycket bättre!”*

*”Mycket. Det är irriterande att strålarna är så glesa.”*

Ursköljningsförmågan av schampo får också majoriteten goda omdömen. Användare 13 (A13) beskriver det som följer:

*”Mycket bättre än referensen. Snabbare ur håret.”*

Användare 2 (A2) håller inte med.

*”Ok, lite mesigt men den gör sitt jobb.”*

Munstycke D:s svagaste sida är det höga ljudet som på ett betydande sätt påverkar användarnas upplevelse negativt. Användare 4 (A4) beskriver ljudet:

*”Fräsande, hårt.”*

Det är dock inte alla som märker av ljudet. Användare 8 respektive 9 (A8 respektive A9) uttrycker sig så här:

*”ok”*

*”Bra.”*

Munstycke D får viss kritik för sin utformning av användare 2 och 13 (A2 och A13) medan användare 11 (A11) är mer positiv. Tillsammans representerar de variationen av åsikter.

*”Sådär, ligger inte så skönt i handen och väger för lite.”*

*”Ganska okej, men kantigheten gör också att handtaget glider en aning i handen.”*

*”Jag tyckte om det ganska mycket.”*

### **Munstycke E**

Gällande munstycke E, som liksom munstycke H fick lågt betyg av användarna, är det framförallt bristen på tryck i strålen som inverkar negativt. Användarna är ganska eniga med användare 7 (A7) som uttrycker sig så här:

*”För dåligt flöde/tryck, men annars bra.”*

Användarna är överens om vad som skulle kunna förbättra upplevelsen med munstycke E. Användare 5 och 11 (A5 och A11) sammanfattar det på ett bra sätt.

*”Mer tryck. Bredare strålbild. Skönare och mindre kantigt handtag.”*

*”För långsam hastighet på strålarna.”*

Trots att munstycke E har en hyfsad luftinblandning får det ändå lågt totalbetyg av användarna. Detta beror inte främst på prestandan, även om det undermåliga trycket gör användarna frustrerade. Istället är det känslan av att hålla i munstycket som drar ner betyget. Användare 4, 5 och 14 (A4, A5 och A14) beskriver mer utförligt varför.

*”Kantigt, blankt och obehagligt. Fick hålla där munstycket går över till slang.”*

*”Lätt. Lite smalt med hårda kanter ger sämre grepp och kontroll.”*

*”Lite obalanserat. Handtaget är smalt och huvudet stort.”*

Naturligtvis finns det olika åsikter och till exempel tycker användare 1 (A1) om munstycke E:s utformning.

*”Kantigt, såklart, men bra! Jag gillar det. Klart det snyggaste munstycket!!”*

## Munstycke H

Användarnas allmänna upplevelse av munstycke H sammanfattas bäst av citaten från användare 1 och 13 (A1 och A13):

*”Negativ. Varken utseende eller funktion tilltalade mig.”*

*”Herre...vilket fjolligt tryck. Totalt värdelöst om man vill vända på munstycket och skölja någonstans.”*

Givetvis finns det också de som skiljer sig från mängden. Användare 14 (A14) uppskattar den mjuka strålbilden:

*”Bra. Det bästa förutom referensmunstycket.”*

Munstycke H anses ha en mycket dålig prestanda där avsaknaden av störande ljud är det som väger upp betyget. Sammanfattningsvis så är det undermåligt tryck som användarna inte uppskattar. Upplevelsen av flödet varierar vilket illustreras av citat från användare 10 och 13 (A10 och A13).

*”Riktigt dåligt. Man kan jämföra det med att duscha i lätt duggregn.”*

*”Bra vattenmängd. Uruselt tryck på strålarna.”*

Samma mönster ses vid upplevelsen av ursköljningsförmågan av schampo. Användare 4 och 7 (A4 och A7) är mer kritiska än användare 14 (A14).

*”Segt, känns som om strålen knappt tränger igenom håret.”*

*”Får hjälpa till mycket med händerna p.g.a. det dåliga trycket.”*

*”Riktigt och behagligt flöde. Hade varit perfekt om flödet varit starkare.”*

Upplevelsen av strålbilden varierar beroende på hur användaren uppfattar att trycket påverkar den. Användare 6 (A6) är missnöjd medan användare 14 (A14) är tillfreds.

*”Bred men för dåligt tryck – får nästan stå inne i blandaren för att inte trycket når ut.”*

*”På ett mycket bra sätt. Härlig koncentration av strålarna.”*

Munstycke H:s utformning får positiv kritik på grund av sina mjukare former men proportionerna uppskattas inte. Användare 4, 5 och 12 (A4, A5 och A12) uttrycker det såhär:

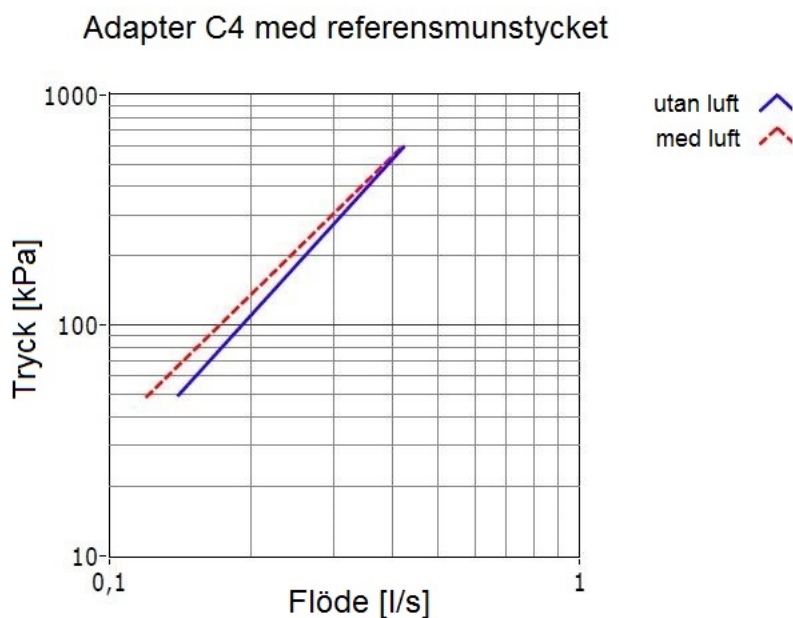
*”Mjukt, inga kanter gjorde det skönt. Men lite tunt handtag. Lätt – men för mig gör det inget om tyngre.”*

*”Ser obalanserat ut med kort och tunt handtag.”*

*”Bra, det är runt, det gillar jag”*

## BILAGA 4 – Tryckfallsdiagram för adapter C4

Tryckfallsdiagrammet i Figur 1 visar relationen mellan flödesmängd och tryck, med respektive utan luftinblandning, för adapter C4 tillsammans med referensmunstycket. I Tabell 1 presenteras de data som hör ihop med tryckfallsdiagrammet i Figur 1.



Figur 1. Tryckfallsdiagram för adapter C4 i kombination med referensmunstycket.

Tabell 1. Data relaterad till tryckfallsdiagrammet i Figur 1.

| Utan luft |       |         | Med luft |       |         |
|-----------|-------|---------|----------|-------|---------|
| Tryck     | Flöde | Flöde   | Tryck    | Flöde | Flöde   |
| [kPa]     | [l/s] | [l/min] | [kPa]    | [l/s] | [l/min] |
| 50        | 0,140 | 8,4     | 50       | 0,120 | 7,2     |
| 100       | 0,193 | 11,6    | 100      | 0,171 | 10,2    |
| 200       | 0,262 | 15,7    | 200      | 0,242 | 14,5    |
| 300       | 0,312 | 18,7    | 300      | 0,298 | 17,9    |
| 400       | 0,355 | 21,3    | 400      | 0,344 | 20,6    |
| 500       | 0,392 | 23,5    | 500      | 0,384 | 23,1    |
| 600       | 0,424 | 25,4    | 600      | 0,421 | 25,3    |