

Avdelningen för Installationsteknik
Examensarbete TVIT—24/5110
Lund 2024

En jämförelse mellan två prototypdon

- med avseende på spridningsbild och tryckfall

Alexander Golgeson
Oscar Midelund



LUNDS
UNIVERSITET

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

Alexander Golgeson
Oscar Midelund

Examensarbete

Avdelningen för Installationsteknik
Institutionen för Bygg- och miljöteknologi
Lunds Universitet
Box 118
221 00 Lund

© Alexander Golgeson och Oscar Midelund

ISRN LUTVDG/TVIT—24/5110-SE(74)
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND

Titel: En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

Författare: Alexander Golgeson & Oscar Midelund

Handledare: Dennis Johansson, bygg- och miljöteknologi, Installations- och klimatiseringslära

Examinator: Victor Fransson, bygg- och miljöteknologi, Installations- och klimatiseringslära

Sammanfattning

I rådande klimat och omvärldsläge har energianvändning fått ett allt större fokus än vad det hade för en 5 – 10 år sedan. Företag och regioner har blivit alltmer medvetna om energikostnaderna där en av de största punkterna är uppvärmning och nedkylning av lokaler. Ett sätt att minska energianvändningen är att kyla ner vissa zoner i stället för hela lokalen. Detta lämpar sig i lokaler med höga krav på renlighet eller där stora värmelaster finns.

Detta arbete syftar till att undersöka två olika prototypdon som tillämpar tekniken Temperature Controlled Laminar Airflow. Syftet med dessa don är att ventilerade begränsade zoner i utrymmen. Tidigare tester tyder på att det skulle föreligga skillnad i egenskaperna hos prototypdonen med avseende på spridningsbild och tryckfall. Spridningsbilderna har undersökts med lika mätmetoder vilka var kastlängd, kärnlinje, visuell spridningsbild och fallhastighet. Även tryckfallet har mätts upp för de olika prototypdonen. Resultaten från de olika mätmetoderna granskades både enskilt och i relation till de andra mätmetoderna. Det resulterade i en nyanserad bild av skillnaderna och likheterna mellan prototypdonen.

Slutsatsen blev att det inte förelåg någon signifikant skillnad mellan de olika prototypdonens spridningsbilder. Det var skillnad på tryckfallet över prototypdonen där prototypdon B uppvisade lägre tryckfall vid samma flöde än prototypdon A.

Nyckelord: TLA, TcAF, TAF, Temperature Controlled Laminar Airflow, lågimpuls, deplacerande, tilluftsdon, luftdon, spridningsbild, kastlängd, tryckfall, fallhastighet

Abstract

In current times due to climate change and the geopolitical environment, more emphasis has been placed on energy usage compared to 5 – 10 years ago. Companies and Counties have become more aware of the energy costs, where one of the biggest posts are heating and cooling indoor spaces. One way of lowering the energy usage of buildings is that instead of cooling the whole indoor space only certain zones are cooled in the building. And this method is especially a good fit for indoor spaces with high demands on cleanliness and where large heat sources exist.

This thesis goal is to examine two different prototype air inlets who apply the method of Temperature Controlled Laminar Airflow distribute air in a room and determine the area of which it distributes air into. The pressure drop difference between the different prototype air inlets will also be examined. Prior tests indicate a difference in air distribution and pressure drop between the different prototype air inlets. The area of which air is distributed into a room will be examined using different measuring methods and they were: thrown, core line, air spread and fall speed. The pressure drop has also been measured between the two different prototype air inlets. The results from the different measuring methods have been analyzed both on their own and together with the other results to give a nuanced result.

The conclusion was that there was no significant difference between the two prototype air inlets in relation to how they distribute air in a room. Although there was a significant difference between the pressure drops, prototype air inlet B showed a lower pressure drop at the same supply air flow compared to prototype air inlet A.

Keywords: TLA, TcAF, TAF, Temperature Controlled Laminar Airflow, displacement air inlet, air spread, thrown, pressure drop, fall speed

Förord

Vi vill tacka Airson Engineering AB och speciellt Johanna Johansson och Kathrine Ericsson för handledningen och de konstruktiva samtal som skedde under vår tid i laboratoriet och under arbetes gång. Vi vill också rikta ett tack till vår handledare Dennis Johansson, avdelningschef på avdelningen för installationsteknik på Lunds Tekniska Högskola, för delgivning av sin expertis under arbetets gång.

Helsingborg i maj 2024

Alexander Golgeson och Oscar Midelund

Innehåll

Sammanfattning.....	i
Abstract	iii
Förord	v
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte	2
1.3 Avgränsningar	2
2 Teori	3
2.1 Ventilationsprinciper.....	3
2.1.1 Omblandande.....	3
2.1.2 Deplacerande	3
2.1.3 Envägsströmning, Laminar air flow	4
2.1.4 Temperature Controlled Laminar Airflow.....	4
2.2 Flödesteori.....	5
2.2.1 Laminär strömning.....	5
2.2.2 Turbulent strömning	5
2.2.3 Övergångszon mellan laminärt och turbulent.....	7
2.3 Temperaturens inverkan på luftens densitet.....	7
3 Metod.....	9
3.1 Förutsättningar	9
3.2 Mätinstrument	10
3.3 Jämförelse av mätinstrument för mätning av lufthastighet	11
3.4 Luftflöde i kanalen	11
3.5 Turbulent strömning.....	12
3.6 Kanalens täthet.....	17
3.7 Kontroll av flöde efter byte av don vid tryckfalls beräkning	17
3.8 Problem att hålla 3 graders undertemperatur med lågt flöde	17
3.9 Lufthastighet i ventilationszonen	18
3.9.1 Kastlängd.....	18
3.9.2 Fallhastighet.....	19
3.10 Temperatur i Ventilationszonen.....	20
3.11 Tryckfall över donet.....	21
3.12 Visualisering av spridningsbild.....	21
3.13 Undertemperatur	24
4 Resultat.....	25
4.1 Kastlängd	25
4.2 Kärnlinje.....	26
4.2.1 3 graders undertemperatur	27
4.2.2 Skillnad i temperatur mellan A1 och B1 vid 3 graders undertemperatur	29
4.2.3 6 graders undertemperatur	31
4.2.4 Skillnad i temperatur mellan A1 och B1 vid 6 graders undertemperatur	33
4.3 Tryckfall.....	34
4.4 Visuellt spridningsbild	41
4.4.1 Mätserie 1	41
4.4.2 Mätserie 2	41

4.4.3	Mätserie 3	43
4.5	Fallhastighet	45
5	Diskussion	49
5.1	Kastlängd	49
5.2	Kärnlinje.....	49
5.2.1	3 graders undertemperatur	49
5.2.2	6 graders undertemperatur	50
5.3	Tryckfall.....	51
5.3.1	Prototypdon A.....	51
5.3.2	Prototypdon B.....	51
5.4	Visuell spridningsbild	52
5.5	Fallhastighet	54
6	Slutsatser.....	57
	Referenser.....	59

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Hösten 2023 släpptes en ny utredning från Europaparlamentet där det lades fram förslag på nya krav för energiförbrukningen för bland annat; offentlig förvaltning, byggnader och datacentraler. Idag står byggnader i EU för cirka 40 % av all energianvändning och 36 % av växthusgasutsläppen. Mer specifikt står uppvärmning, kylning och varmvatten för de stora energiposterna i byggnaderna. I mars 2023 beslutade Europaparlamentet förslaget om en klimatneutral byggsektor senast 2050 (Europaparlamentet, u.d.).

Vissa specifika mål har även lyfts där EU-länderna bör se till att minst 3 % av de offentliga byggnaderna renoveras varje år till nära-nollenergibyggnader eller byggnader med nollutsläpp (Europaparlamentet, u.d.). Enligt Sveriges kommuner och regioners hemsida äger kommun, region och stat tillsammans ca 90 miljoner m² lokalyta. Om renoveringstakten är 3 % per år blir det 2,7 miljoner m², eller 7 400 m² per dag. Problemet är dessutom att många byggnader är byggda före 1980-talet vilket innebär en låg energistandard och dåligt utformade för dagens verksamhet (Johansson, 2023).

Ett sätt att minska energianvändningen är att minska volymen luft som värms respektive kyls genom att använda metoden Temperature Controlled Laminar Airflow som förkortas TLA. TLA innebär att tillföra undertempererad luft till en varmare omgivning. Densitetsskillnaden mellan den kalla och varma luften gör att det bildas en ventilerad zon. Detta lämpar sig främst åt industrier eller sjukhus med hög kravställning på luftens renhet. Luftomsättningen i sjukhus är dessutom mellan 20 – 40 gånger högre än vanliga lokaler vilket leder till hög energiåtgång (Andersson, 2020).

TLA tekniken kräver en viss typ av don som hanterar tilluftens spridning. Det finns studier om hur denna typ don hanterar spridning av luftburna partiklar, till exempel i utrymmen där det föreligger risk för smittspridning (Lundstedt & Ederberg, 2021). Det finns även studier kring hur externa värmelaster påverkar denna typ av ventilation (Sandell, 2017). Däremot finnes inga omfattande rapporter som beskriver spridningsbilden eller utbredningen av den undertempererade luftens beteende beroende av tilluftens egenskaper så som temperatur eller flödesmängd. Syftet med denna rapport är att undersöka hur spridningsbilden och tryckfallet på två olika donstyper ser ut och jämföra dessa.

Ambitionen med denna rapport är att resultatet ska mynna ut i att ge en tydligare bild på skillnaderna eller likheterna mellan de två olika prototypdonens spridningsbilder och hur egenskaperna av tilluften påverkar denna. Anledningen till att undersöka två olika prototypdon är att utvärdera möjligheten att använda ett strukturellt mer hållbart material. Airson undrar om och i så fall hur detta materialval påverkar donens spridningsbild och tryckfall.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

1.2 Syfte

Syftet med studien är att undersöka spridningsbilden och tryckfallet för två olika varianter av tilluftsdon som tillämpar TLA metoden. Spridningsbilden ska undersökas vid olika förhållanden så som varierande temperatur och flöde på tilluften. Vissa undersökningar görs med flera don för att undersöka variationer inom samma variant av prototypdon. Tryckfallet mäts upp för att undersöka dess relation till tilluftsflödet.

Det som har valts att mätas för att kartlägga spridningsbilden är kastlängd, kärnlinje, visuell spridningsbild och fallhastighet. Dessa mätningar kommer att utföras med varierande tilluftstemperatur, flöde och don. Genom att jämföra och analysera de olika mätningarna kommer slutsatser att kunna dras om hur spridningsbilden påverkas av dessa variabler.

- Hur förhåller sig kastlängden mellan de två olika prototypdonen?
- Hur förhåller sig kärnlinjen mellan de två olika prototypdonen?
- Hur förhåller sig tryckfallet mellan de två olika prototypdonen?
- Hur förhåller sig spridningsbilden mellan de två olika prototypdonen?
- Hur förhåller sig fallhastigheten mellan de två olika prototypdonen?

1.3 Avgränsningar

Kastlängden avsåg att mäta den horisontella lufthastigheten längs med golvytan på 0,1 meters höjd. Utbredningen mättes från centrum av luftstrålen till den punkt där den horisontella lufthastigheten var 0,15 m/s samt 0,20 m/s. Kastlängden mättes med varierande undertemperatur, tilluftsflöde och don.

Kärnlinjen avsåg att mäta ut temperaturen i ett vertikalt plan från centrum av luftstrålen. Punkterna som valdes var jämnt utspridda i ett vertikalt plan för att med hjälp av temperaturen avgöra vart tilluftstrålen angränsade till omgivande luft. Kärnlinjen mättes med varierande undertemperatur, tilluftsflöde och don.

Tryckfallet avsåg att mätas över donet kopplat till luftflödet i kanalen. Tryckfallet mättes med varierande tilluftsflöde och don.

Genom visualiseringen av spridningsbilden kunde en jämförelse av spridningsbildens bredd göras. Diametern på ventilationszonen mättes i horisontellt riktning 1,1 m över golvytan. Mätningarna skedde med varierande undertemperatur, tilluftsflöde och don.

Fallhastigheten avsåg att mäta den vertikala lufthastigheten i centrum av tilluftsstrålen på höjden 1,1 m över golvytan. De uppmätta värdena jämfördes för att kartlägga hur fallhastigheten varierade beroende av undertemperatur, tilluftsflöde och don.

2 Teori

2.1 Ventilationsprinciper

2.1.1 Omblandande

Vid omblandande ventilation tillförs luften med relativt hög hastighet utanför vistelsezonen, oftast från tak eller vägg. Anledningen till att tilluftsdonen placeras utanför vistelsezonen är för att undvika att skapa drag i vistelsezonen (Lindab, 2021). Frånluftsdonen skapar däremot inte något nämnvärt drag och dess placering är inte lika viktig ur dragsynpunkt, dock placeras dem oftast i taknivå (Warfvinge & Dahlblom, 2020). Det är viktigt att inblåsningshastigheten ställs in så att omblandningen blir effektiv samt att lufthastigheten i vistelsezonen inte blir för hög (Lindab, 2021).

Temperaturen och föroeringskoncentrationen är i princip samma i hela rummet vid både isotermisk och undertempererad luft. Den omblandande ventilationen blir relativt opåverkad av yttre omständigheter och används för både uppvärmning och nedkyllning (Lindab, 2021). I normalfall är tilluftstemperaturen kring +18 grader, ju desto större temperaturskillnad mellan tilluft och rumstemperatur desto större är risken för dragproblem i vistelsezonen. Däremot kan för varm tilluft i samband med för låg inblåsningshastighet leda till otillräcklig omblandning (Warfvinge & Dahlblom, 2020).

Omblandande ventilation är bland de vanligast förekommande metoderna för att ventilerar lokaler. Omblandande ventilation hittas i klassrum, restauranger och kontor med låg eller medelhög takhöjd och där luft kan introduceras i taknivå (Swegon, u.d.).

2.1.2 Deplacerande

Deplacerande ventilation innebär att tilluften undantränger luften som finns i rummet. Don placeras normalt i golvnivå där undertempererad tilluft med låg hastighet tillförs och flyter t på golvet. När luften kommer i kontakt med varma objekt exempelvis kroppar eller maskiner som avger mycket värme kommer luften att stiga då luftens temperatur höjs. Förorenad luft följer med luftströmmen och sugts ut via don placerade högt upp i rummet eller via överluftsdon (Warfvinge & Dahlblom, 2020).

Donens öppningsarea är stor då inblåsningshastigheten vill hållas låg för att minska risken för drag. Deplacerande ventilation fungerar inte vid tillförsel av varm luft, då det behövs en temperaturskillnad för att luften ska lägga sig på. Temperaturen på luften blir högre desto högre upp i rummet då varmluft har lägre densitet än kall och därmed stiger uppåt medan kall luft sjunker. I verkligheten bildas två olika zoner; en zon med varm och förorenad luft och en nedre med kallare och renare luft. Gränserna mellan zonerna är inte exakt då gränsen är beroende av rummets geometri (Warfvinge & Dahlblom, 2020).

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

2.1.3 Envägsströmning, Laminar air flow

Envägsströmning går ut på att tilluften tillförs i takhöjd i ett rum där den åker ut och fyller hela takarean för att sedan trycka sig nedåt laminärt genom hela rummet likt en kolv. Envägsströmning används oftast där det är höga krav på luftkvaliteten i exempelvis elektroniktillverkning eller operationssalar. Tilluftsflödet är stort jämförelsevis mot omblandande ventilation, frånluften sugas ut under golvnivå. För att motverka de termiska luftrörelserna genererade utav värmekällor i rummet behöver lufthastigheten vara hög, cirka 0,4 m/s (Warfvinge & Dahlblom, 2020).

Installation och validering för LAF (Laminar air flow) system är dyrare än vad omblandande system är. LAF system kräver kontinuerlig skötsel och kräver också mer energi än omblandande system. En studie visar att LAF system var 24% dyrare i installationskostnad och hade en 34% högre driftkostnad jämfört med omblandande system. Ombyggnation av befintliga operationssalar kan vara svårt på grund av det större utrymmesbehovet och de högre kostnaderna som LAF system kräver (Wang, 2019).

2.1.4 Temperature Controlled Laminar Airflow

Principen för TLA (Temperature Controlled Laminar Airflow) -tekniken är att undertempererad luft med sin högre densitetskillnad faller nedåt med en hastighet som är beroende utav temperaturskillnaden mellan tillförd luft och rummets. TLA-tekniken ger därav en mycket stabil och säker styrning utav fallhastigheten. TLA-tekniken gör det även möjligt att hålla en bra balans mellan tillräckligt hög hastighet för att bryta kroppskonvektionen från personer under donen samtligt som det inte skapas onödigt drag eller turbulens (Löndahl, et al., 2017).

Fördelen med TLA jämfört med LAF (Laminar air flow) är att man bland annat sparar takareal då LAF kräver specialbyggda takutrymmen för att dessa ska fungera. Fördelarna med TLA är även att det inte använder HEPA filter som luftfördelare, utan kan skilja på funktionerna filter och luftfördelare (Löndahl, et al., 2017).

Som nämnt i tidigare avsnitt använder LAF mycket höga flöden för att motverka kroppskonvektion men på grund utav den undertempererade luften behövs inte lika höga flöden användas vid TLA. Lägre luftflöden innebär effektivare och energisnålare ventilation, TLA har visats ge en energianvändning som är 30% lägre än konventionell operationssalsventilation (Löndahl, et al., 2017).

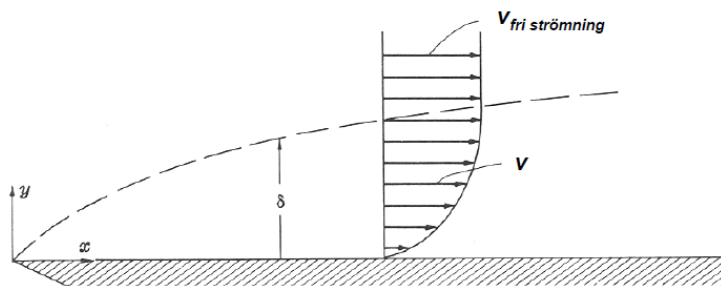
TLAs användningsområden är främst i verksamheter som kräver lokalt ventilerade zoner exempelvis i sjukhus eller astmabehandling i hemmet (AirSon, u.d.).

2.2 Flödesteori

2.2.1 Laminär strömning

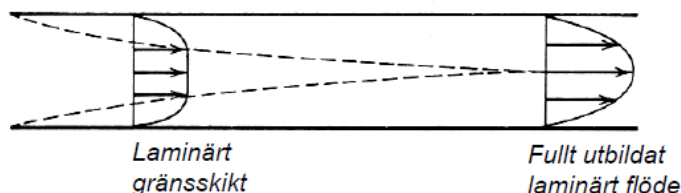
Om en newtonsk fluid strömmar med låg hastighet i närheten av en fast yta blir strömningen närmast ytan uppdelad i flera skikt. Hastigheten för strömningen kommer vara högre desto högre upp ifrån ytan skiktet befinner sig. Denna form av strömning kallas laminär som kommer av ordet laminat som betyder skikt (Eriksson, 2007).

Den fasta ytan har en stor betydelse då den är ett hinder för den fria omblandningen som annars är vanlig i en strömmande fluid, kallat fri strömning. Skiktuppdelningen som börjar närmast ytan uppstår på grund av att den fria strömningen bromsas upp av den fasta ytan och den bromsande effekten sprider sig i fluiden. Vid ytan är det närmsta skiktet praktiskt taget stillastående där den bromsande effekten sträcker sig endast en bit ut från ytan, utanför den är det fri strömning. Området mellan den fasta ytan och fri strömning kallas gränsskikt men finns i två varianter, laminärt gränsskikt och turbulent gränsskikt beroende på vilken form av strömning som sker (Eriksson, 2007).



Figur 1, Schematisk bild på hastighetsprofilen för laminär strömning vid en plan yta (Eriksson, 2007)

Gränsskiktet kommer att fortsätta att växa till dess att det begränsas genom att exempelvis den fasta ytan upphör eller förändras på något sätt. Det kan även begränsas om det möter ett annat gränsskikt från ett spegelvänt håll, som exempelvis i ett rör där gränsskiktet rör sig in mot centrum av röret. I punkten där gränsskikten möts blir gränsskiktet fullt utbildat (Eriksson, 2007).



Figur 2, Schematisk bild på hastighetsprofilen för laminär strömning i rör (Eriksson, 2007)

2.2.2 Turbulent strömning

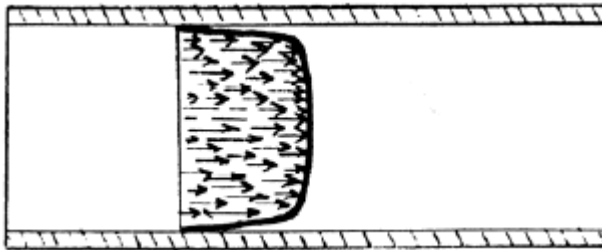
Laminär strömning förekommer endast då en fluid har tillräckligt låg hastighet. I den laminära strömningen är skikten jämnt fördelade i tvärsnittet där det enda skiktet är lite

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

snabbare än det andra och där det snabbare skiktet bromsas in av det långsammare. Det innebär att det sker en kraftöverföring mellan skikten och storleken på denna kraftöverföring beror bland annat på strömningshastigheten. Detta betyder också att om hastigheten ökas kommer kraftöverföringen mellan skikten också att öka. Hastigheten kommer att öka tills att kraftöverföringen blir för stor och då kommer fludelementen få en så pass stark impuls i sidled där de inte kan hålla sig inom sitt eget skikt, det uppstår då en omblandning mellan skikten (Eriksson, 2007).

De olika gränsskikten byggs upp då fri strömning träffar en fast yta kommer strömningen och gränsskiktet övergå till ett turbulent gränsskikt om kontakten med den fasta ytan fortgår tillräckligt länge. Något som påverkar hur lång tid denna effekt tar är beroende på strömningens hastighet, där högre hastighet ger en kortare tid till dess att strömningen har övergått från laminärt till turbulent (Eriksson, 2007).

När flödet har övergått från laminärt till turbulent kommer gränsskiktets tjocklek att öka drastiskt. Detta är på grund av impulstransporten som är den överförande inbromsningskraften får hjälp av fludelementen som rör sig mellan skikten. Då kommer den fasta ytans friktion mot fluiden också att märkas längre ut i det fria flödet (Eriksson, 2007).

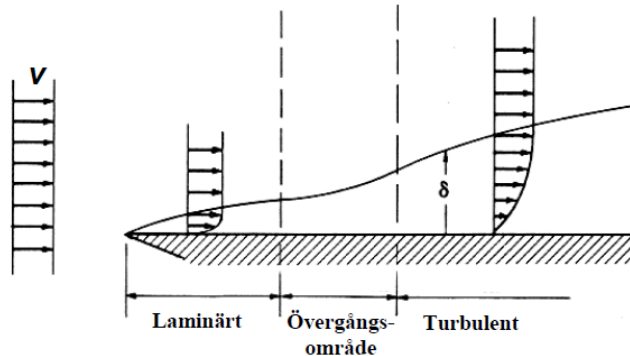


Figur 3, Schematisk bild på hastighetsprofilen för fullt utvecklade turbulenta flödet i rör (Eriksson, 2007)

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

2.2.3 Övergångszon mellan laminärt och turbulent

Övergången sker inte direkt utan sker i en del av gränsskiktet, övergångsområdet. I övergångsområdet kommer flödet att vara både turbulent och laminärt (Eriksson, 2007).



Figur 4, Schematisk bild på hastighetsprofilen för flöden i tre olika tillstånd (Eriksson, 2007)

2.3 Temperaturens inverkan på luftens densitet

Temperatur ger ingen klar information om värmestillståndet i en kropp, begreppet temperatur är kopplat till den slumpmässiga moleky rörelsen i en substans. Det ter sig att temperatur är ett mått på molekylens genomsnittliga kinetiska energi (Jönsson, 2016).

När två områden med olika temperatur kommer i kontakt med varandra kommer enskilda molekyler i gränsområdet mellan de två olika temperaturerna att utbyta energi. Kinetisk energi hos molekyler i det varma området förs över via kollisioner till molekyler i det kalla området (Jönsson, 2016).

Densiteten utav en gas kan med hjälp av ideala gaslagen skrivas som $\rho = \frac{pM}{RT}$ där ρ är densitet, P är tryck, M är molmassa, R är allmänna gaskonstanten och T är temperatur. Med formeln går det att utläsa att densiteten är omvänt proportionell mot temperaturen, vilket innebär att om temperaturen ökar kommer densiteten i gasen att minska (Jönsson, 2016). Detta innebär att om kall och varm luft introduceras i ett rum kommer den kalla och tyngre luften att falla till marken medan den varma och lättare luften kommer att stiga.

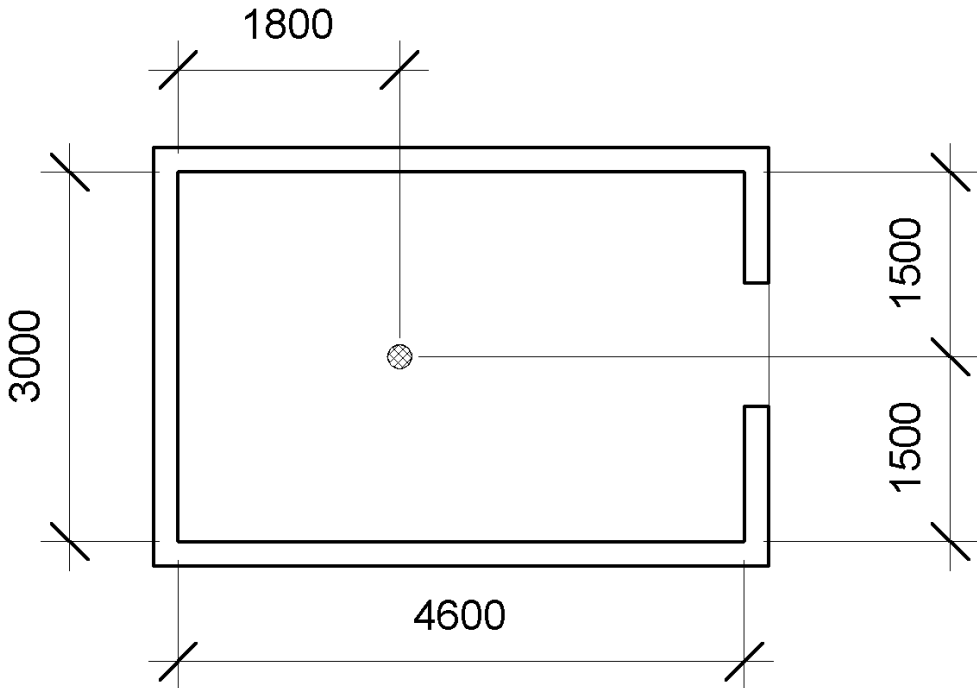
En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

3 Metod

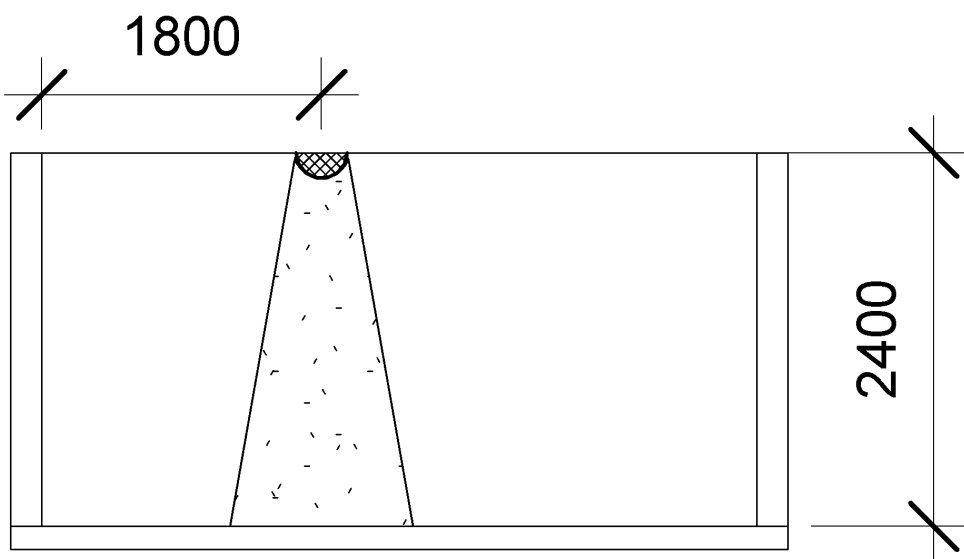
3.1 Förutsättningar

Samtliga tester gjordes i Airsons laboratorium i Ängelholm. Laboratoriet bestod av ett rum uppbyggt med cellplast. Rummets innermått var 3 x 4,6 x 2,4 m (bredd, längd, höjd) där donet var placerat i centrum av kortsidan, 1,8 m in längs med långsidan. Labbet var placerat i en större förrådslokal som fungerade som ett kallförråd.



Figur 5, Laboratories mått i millimeter sett ovanifrån

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall



Figur 6, Laboratories mått i millimeter sett från sidan med schematisk tolkning av spridningsbilden

Laboratoriet hade konstruerats på ett sådant vis att tester med flertalet don skulle kunna genomföras. Bland annat fanns det totalt sex ventilationskanaler att installera don på men endast tre av sex var kopplade till ventilationssystemet som avsågs att användas i detta experiment. Under testerna testades ett don åt gången och de resterande två kanalöppningarna hade förseglats. Två frånluftshål med diametern 200 mm var belägna i golvnivå på långsidorna i linje med tilluftsöppningen.

I mätningarna användes två typer av prototypdon. Den ena typen av prototypdon benämns som A och den andra som B. Beroende av mätningens upplösning användes upp till tre prototypdon av varje typ. Vid benämning av specifikt don används benämningarna A1, A2 och A3 för dontyp A och B1, B2 och B3 för dontyp B.

3.2 Mätinstrument

I mätningar av tryckfall, lufthastighet och temperatur användes tryckmätaren TSI VelociCalc 9565P. Då TSI VelociCalc 9565P i sin grundform endast kunde mäta tryckfall kopplades en TSI varmrådsgivare modell 964 in för att möjliggöra mätningar av hastighet och temperatur.

För att säkerställa tilluftens undertemperatur mättes detta med termoelementloggaren Picoscope tc-08 kopplad till två passiva temperaturgivare.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

Tabell 1 presenterar mätintervall, mätnoggrannhet och upplösning av de mätinstrument som använts vid mätningarna.

Instrument	Intervall	Noggrannhet	Upplösning
TSI VelociCalc 9565P	0 – 48 kPa 1 s – 1 h loggnings-intervall	±1% av avläst värde eller ±1 Pa, beror av vilken som är störst	0,1 Pa
TSI varmtrådsgivare modell 964	0 – 50 m/s -10 – +60 °C	±3% av avläst värde eller ±0,015 m/s, beror av vilken som är störst ±0,5°C, ±0,05°C / °C som skiljer sig från 25°C	0,01 m/s 0,1°C
Picoscope tc-08	-270 – +1820°C	Σ ±3% av avläst värde och ±0,5°C	0,025°C

3.3 Jämförelse av mätinstrument för mätning av lufthastighet

Draggivaren mäter lufthastighet oberoende riktning, varmtrådsgivare mäter lufthastighet i bestämd riktning. Lufthastighet i en specifik riktning sökes för att kunna avgöra vilket håll som luften kommer ifrån. Givet att lufthastighet i en specifik riktning är utav intresse gör att varmtrådsgivaren i detta fall är lämpat för dessa mätningar. Båda typer av instrument gav liknande värden på lufthastighet vid mätning i samma punkt. Men då draggivaren inte mäter lufthastigheten i någon specifik riktning blir mätningar med detta instrument i detta fall olämpligt.

3.4 Luftflöde i kanalen

Luftflödet i kanalen bestämdes genom att mäta tryckfallet över ett steglöst flödesmätspjäll av typen Lindab DIRU 200 mm. På spjället finns två mätnippel för att mäta trycket före och efter spjället vilket gjordes med TSI VelociCalc 9565P som beräknade tryckfallet. För att räkna om tryckfall till flöde användes en k-faktor angivet på spjället. Formeln för flödet var $q = k \cdot \sqrt{p}$ där q är flöde i liter per sekund, k är k-faktorn och p är tryckfallet i Pascal över spjället. Tryckfallsmätningen gjordes med en TSI VelociCalc 9565P kopplad till mätnippeln före respektive efter spjället.

Tilluftsfläkten ställdes med en steglös regulator var på tryckfallet mättes upp mot ett önskat tryckfall som motsvarade ett bestämt tilluftsflöde. Tryckfallet som TSI VelociCalc 9565P mätte lästes av manuellt och ansågs vara godtagbart om det höll sig inom +/- 5 % av önskat tryckfall. Nedan visas formeln för att beräkna det önskade flödet.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

För att ställa in fläkten på rätt varvtal för att erhålla önskat flöde löses tryckfallet (P) ut ur ekvationen $q = k \cdot \sqrt{p}$

$$q = k \cdot \sqrt{p} \rightarrow p = \left(\frac{q}{k}\right)^2$$

Med hjälp av ekvationen $p = \left(\frac{q}{k}\right)^2$ kan måltryckfallet beräknas för att erhålla önskat flöde.

3.5 Turbulent strömning

Möjligheten att använda metoden som beskrivs i rapporten *Gemensamma Nordiska metoder för mätning av luftflöden i ventilationsanläggningar* för luftflödesmätning undersöktes (Svensson, 1974). Metoden går ut på att med hjälp utav Prandtl-rör mäta det dynamiska trycket i flera punkter i ett cirkulärt tvärsnitt. Med hjälp av de uppmätta värdena kan sedan ett normerat tryck beräknas som i sin tur används för att beräkna lufthastigheten i kanalens tvärsnitt. För att kunna använda denna metod behöver vissa villkor uppfyllas. Dessa villkor undersöktes genom följande steg:

”Bestäm först hastighetsfördelningen i mätplanet. Mätning med Prandtl-rör bör ej ske vid hastigheter under 3 m/s.

a. Mät dynamiskt tryck i centrum av tvärsnittet.
b. Sök läge för största dynamiska tryck och notera såväl storlek som läge härför.

1. Om detta maximum är beläget längre från kanalvägg än $0,1d$ ($0,1d_h$) och det maximala dynamiska trycket är mindre än $2 \times$ dynamiska trycket i centrum *godtas mätplanet* och mätpunkter väljs enligt TAB. 1 och 3 avseende rekommenderat mätplan.

2. Om båda villkoren ej uppfylls söks ett nytt rekommenderat mätplan.

3. Om inget mätplan som uppfyller villkoren kan lokaliseras väljs alternativt mätplan enligt punkt 4.

4. Det maximala dynamiska trycket är beläget längre från kanalvägg än $0,1d$ ($0,1d_h$) och är mindre än $4 \times$ dynamiska trycket i centrum. Vidare får ej återströmning ske, dvs dynamiska trycket vara negativt. Mätpunkter väljs då enligt TAB. 2 och 4.

5. Om inget mätplan som uppfyller villkoren enligt punkter 1

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

och 4 kan lokaliseras bör ej flödesmätning med Prandtl-rör ske.”

TAB. 1. Mätpunkternas lägen vid mätning i rekommenderat mätplan vid cirkulärt tvärsnitt

Mätningarna skall företrädesvis ske enligt fall A



och om detta ej är möjligt enligt

fall B



Nominell diam mm ¹⁾	Mätplan	Mätpunkternas lägen, a - d, i mm			
		a	b	c	d
100 125 160 ²⁾		29 36 46	71 89 114		
200 250 315 400		20 25 32 40	100 125 160 200	180 225 283 360	
500 630 800 1000 1250		22 27 34 43 54	145 185 230 290 360	355 445 570 710 890	478 603 766 957 1196

1) enligt ny kanalstandard. För äldre standard, SIS 827203 väljs punkter enligt TAB. 5.

2) Prandtl-rörets diameter bör ej överstiga 1/30 av kanaldiametern. Vid kanaldimensioner < 200 mm bör därför Prandtl-rör med diameter ~ 2,5 mm användas.

Figur 7, Instruktion för mätning i rör med Prandtl-rör (Svensson, 1974)

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

TAB. 2. Mätpunkternas lägen vid mätning i alternativt mätplan.
Cirkulärt tvärsnitt.

Mätningarna skall ske utefter två diametrar i det bästa av de undersökta mätplanen.

Antalet mätpunkter skall vid respektive dimensionsgrupper vara:

$d \leq 160$	minst	6	mätpunkter	per	diameter
$200 < d < 400$	"	9	"	"	"
$500 \leq d \leq 1250$	"	10	"	"	"

För valet av mätpunkter utefter respektive diameter gäller:

- första respektive sista mätpunkt skall ligga 15 mm från kanalvägg
- övriga mätpunkter fördelas jämnt däremellan
- eventuella hastighetsmaxima respektive hastighetsminima skall bestämmas till såväl läge som storlek.

Figur 8, Instruktion för mätning i rör med Prandtl-rör (Svensson, 1974)

Då inget av villkoren kunde uppfyllas kunde inte Prandtl-rör användas. Eftersom det inte gick att använda Prandtl-rör för att bestämma hastigheten i kanalen fick en annan metod testas. Metoden som valdes att gå vidare med var att använda TSI VELOCICALC 9565P i kombination med TSI varmtrådsgivare för att mäta lufthastigheten i kanalen.

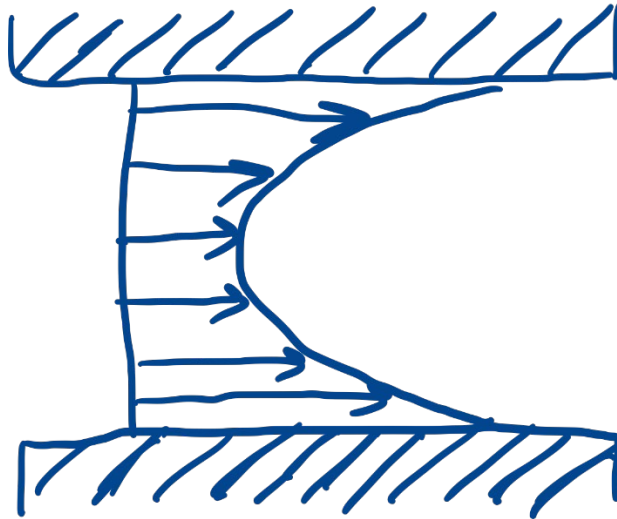
Vid undersökning av lämplig metod för att mäta luftflöde upptäcktes oväntad strömning i kanal efter fläkt. Teoretiskt sätt bör lufthastigheten i en kanal vara som högst i centrum av tvärsnittet där det uppträder minst friktion mellan luft och kanalvägg enligt Figur 11. Lufthastigheten bör avta närmare kanalväggen. Intill kanalväggen borde hastigheten vara som lägst på grund av friktionen mellan kanalvägg och luftströmning.

I kanalen erhöles lägst lufthastighet i mitten av kanalen och gradvis högre desto närmre kanterna mätinstrumentet mätte oberoende av flöde enligt Figur 9. Detta gjorde att inga tillförlitliga mätvärden kunde erhållas. Vid vidare undersökning konstaterades det att luften i kanalen färdades likt en spiral. Detta är en förklaring till de högre hastigheterna längs kanalväggarna och nära-nollhastigheten i centrum av tvärsnittet. Varmtrådsgivaren mäter endast hastighet i en riktning. När varmtrådsgivaren riktades omkring 30 grader mot kanalens riktning kunde den högsta hastigheten mätas upp. Orsaken till att spiralen bildas från första början är på grund av att tilluftsfläkten som var en centrifugalfläkt som skapar luftspiralerna när den tillför luft i kanalen.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

Första åtgärden: Installera steglöst flödesmätspjäll av modellen Lindab DIRU 200 mm i försök att minimera spiralen i luften.

Resultat första åtgärden: Spiralen kvarstod och samma slutsats drogs som tidigare innan flödesmätspjället installerades oberoende av strypningsgrad. Hastighetsprofilen illustreras i Figur 9.



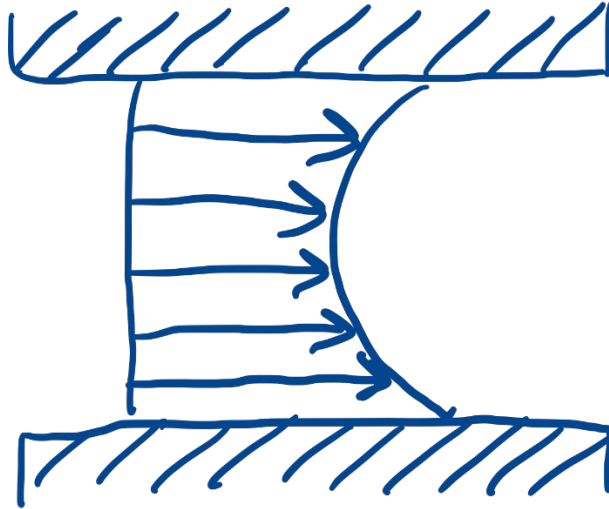
Figur 9, Schematisk bild av hastighetsprofilen i kanalen innan och efter första åtgärden.

Nu öppnas även möjligheten för en ny metod för att bestämma luftflöde. Denna metod innebär att mäta tryckfallet över spjället och med hjälp av spjällets k-faktor beräkna luftflödet. Denna metod är smidigare och snabbare än föregående metod med varmtrådsgivaren. Med varmtrådsgivaren hade flera punkter i tvärsnittet behövts mätas upp och mätt dessa likt tidigare under 3 minuter vid 0,1 Hz. Vid flertalet mätningar ska luftflödet variera vilket hade resulterat i en tidskrävande process att ställa in varje önskat luftflöde. På grund av att spiralen kvarstod kunde inte tillförlitliga mätvärden från spjället säkerställas.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

Andra åtgärden: Installera två filter i serie i kanalen mellan fläkt och spjäll.

Resultat andra åtgärden: Spiralen kvarstod men var lindrigare än tidigare, se Figur 10. Lufthastigheten var mer eller mindre jämn i hela kanalens tvärsnitt, men tendens fanns kvar till att spiralen fortfarande i viss mån kvarstod.

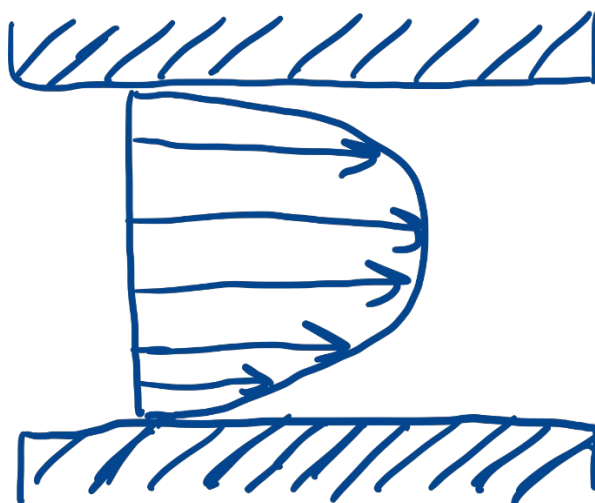


Figur 10, Schematisk bild av hastighetsprofilen i kanalen efter andra åtgärden.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

Tredje åtgärden: Förlänga kanalen mellan fläkt och spjäll.

Resultat av tredje åtgärden: Förlängningen av kanalen eliminerade spiralen helt. Vid mätning av lufthastighet i kanal efter spjället med hjälp av varmtrådsgivaren kunde resultat enligt teori erhållas, se Figur 11. Slutsatsen som drogs är att strömning sker utan spiral för att säkerställa mer pålitliga värden vid användning av metoden som innebar mätning av flöde med hjälp av tryckfall över spjäll.



Figur 11, Schematisk bild av hastighetsprofilen i kanalen efter tredje åtgärden.

3.6 Kanalens täthet

För att säkerställa kanalens täthet tejpades alla skarvar och hål i kanalen för att minimera risk för läckage. Flödet vid donkopplingen mättes med mät huv före och efter tejping utan någon nämnvärd skillnad på flödet. Slutsatsen är att läckaget innan tejping inte var påtaglig och därav var tejpingen överflödigt.

3.7 Kontroll av flöde efter byte av don vid tryckfalls beräkning

Efter varje tryckfallsmätning på donen mättes även tryckfallet över flödesspjället för att undersöka donens påverkan på kanalens totala tryckfall. Detta för att säkerställa att flödet i kanalen inte påverkades. Detta gjordes dock endast för A1 och B1 där tryckfallet över flödesspjället inte uppvisade någon nämnvärd skillnad mellan donen.

3.8 Problem att hålla 3 graders undertemperatur med lågt flöde

Vid mätningar av kombinationen lågt luftflöde och undertemperatur på 3 grader Celsius var det svårt att hålla labbet från att bli för varmt och därmed felaktig undertemperatur när båda laboranter var inne i labbet. De värmekällor som fanns i labbet var dels laboranterna, dels en elradiator och en ljuskälla i form av en lysrörsarmatur. Åtgärden

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

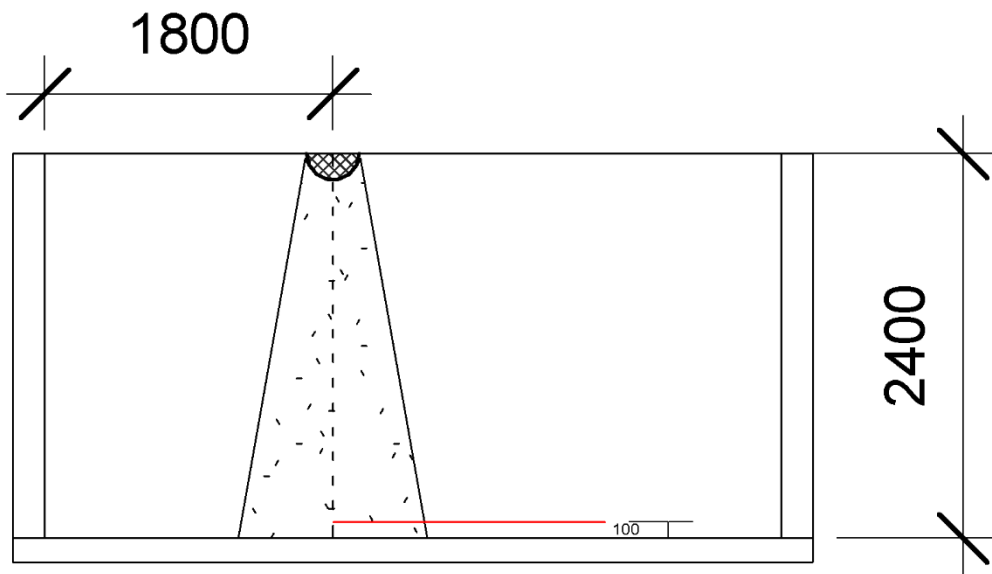
var att en laborant befann sig i utrymmet och att lysrörsarmaturen samt elradiatorn stängdes av för att minska värmebelastningen. Detta resulterade i att undertemperaturen kunde hållas konstant kring 3 grader Celsius.

3.9 Lufthastighet i ventilationszonen

3.9.1 Kastlängd

För att mäta donens kastlängd sattes varmtrådsgivaren på 0,1 m från golvnivån och mätningarna gjordes i en linje från centrum av donet enligt Figur 12 till dess att hastigheten underskred 0,20 m/s samt 0,15 m/s. Ett antagande har gjorts att kastlängden ter sig symmetriskt kring centrum av donet, därav har kastlängden endast undersökts i en riktning. Kontrollmätningar har utförts i andra riktningar vilket uppvisade symmetri. För att ge korrekt mätning riktades varmtrådsgivarens öppning mot luftens riktning. Mätningarna pågick under 3 minuter med en frekvens på 0,1 Hz och resultatet blev det medelvärde som mätinstrumentet beräknade.

Vid mätningarna varierades undertemperaturen och tilluftsflödet. De undertemperaturerna och tilluftsflödena som undersökts är 3°C och 6°C samt 30, 70 och 120 l/s. Dessa variabler har valts i samråd med AirSon.

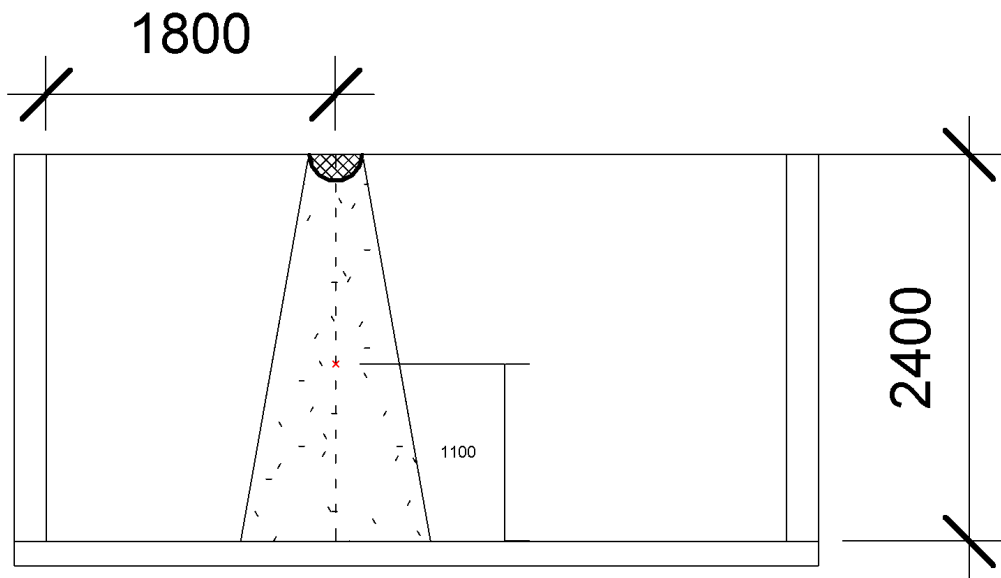


Figur 12, Schematisk bild av hur kastlängden mäts upp.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

3.9.2 Fallhastighet

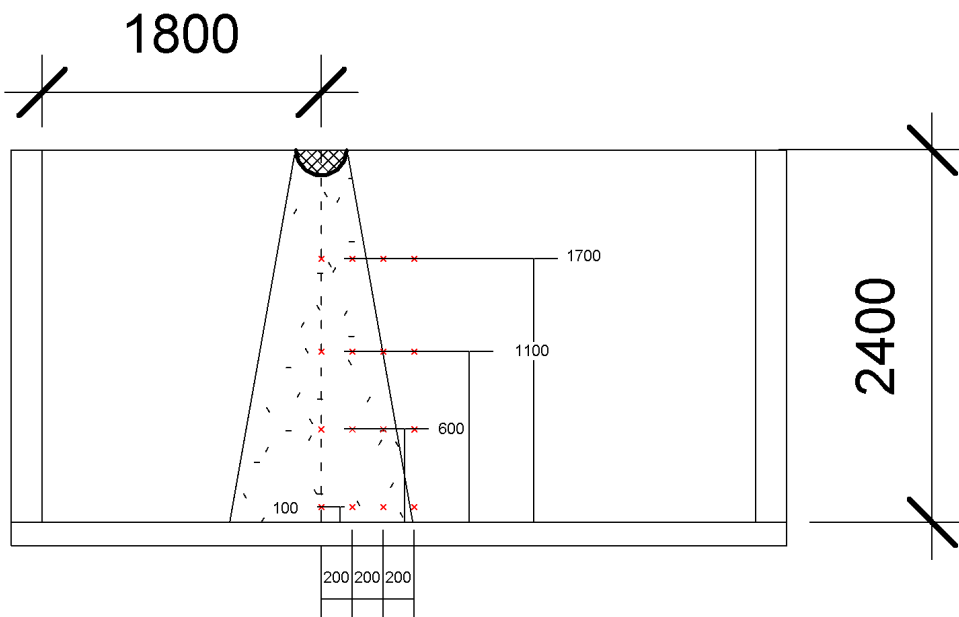
Fallhastigheten av tilluften från donet mättes med hjälp av varmtrådsgivaren. Varmtrådsgivaren placerades direkt under centrum av donet på 1,1 m höjd enligt Figur 13. Varmtrådsgivaren riktades i luftens flödesriktning för att mäta den vertikala lufthastigheten. Den vertikala lufthastigheten mättes för olika don, flöden och undertemperaturer. Dessa variabler har valts i samråd med AirSon. Mätningarna pågick under 3 minuter med en frekvens på 0,1 Hz och resultatet blev det medelvärde som mätinstrumentet beräknade enligt samråd med AirSon.



Figur 13, Schematisk bild av hur fallhastighet mättes upp.

3.10 Temperatur i Ventilationszonen

För att mäta temperaturen i ventilationszonen gjordes ett plan för att avgöra hur temperaturen varierade beroende på höjd och sidled. Höjderna var 0,1 m, 0,6 m, 1,1 m och 1,7 m över golvnivån. Utbredning från prototypdonens centrum var 0 m, 0,2 m, 0,4 m och 0,6 m. Schematisk bild redovisas i Figur 14. Flödet var konstant 110 l/s för samtliga mätningar. Dessa variabler har valts i samråd med AirSon.



Figur 14, Schematisk bild av hur kärnlinje mäts upp.

Metoden var att först bestämma en höjd och därefter endast variera varmtrådsgivarens position i sidled. Vid varje position mättes samtliga don innan varmtrådsgivarens position ändrades.

Efter att båda donen hade mätts efter varandra i samma punkt ändrades först positionen i sidled till dess att temperaturen 0,6 m utifrån donets centrumlinje uppmättes. När samtliga punkter i sidled hade mätts upp på en viss höjd ändrades höjden och metoden började om likt tidigare beskrivning.

Då det inte skedde några markanta temperatursvängningar gjordes ingen normeringsmätning. Värdet som TSI VelociCalc 9565P visade lästes av 2 minuter efter donskifte för att trycket i kanalen skulle hinna stabiliseras innan avläsning.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

3.11 Tryckfall över donet

Tryckfallet över donet mättes med TSI VelociCalc 9565P där en gummislang kopplades från ena polen på instrumentet till mätnippeln på donet och den andra polen på instrumentet lämnades fri för att mäta trycket i rummet. Mätningarna pågick under 3 minuter med frekvensen 0,1 Hz. Mätinstrumentet gav ett medelvärde när mätningen var klar vilket blev värdet som redovisas i resultatdelen. Dessa variabler har valts i samråd med AirSon.

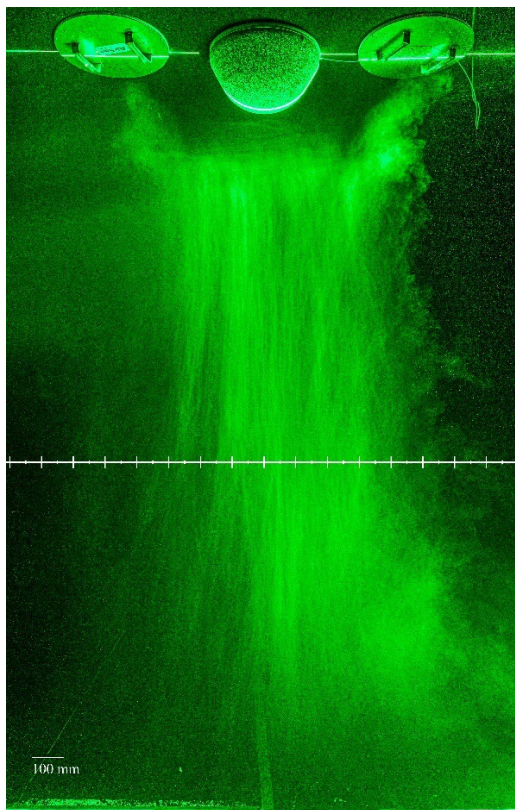
3.12 Visualisering av spridningsbild

För att undersöka spridningsbilden visuellt introducerades rök i tilluftstrålen med hjälp av en rökgenerator eller en partikelgenerator. För att framhäva kontrasten mellan tilluftstrålen och omgivande luft användes en linjelaser som skar röken i ett vertikalt plan. Linjelasern placerades i golvnivå längs med långsidan av väggen i linje med centrum av donet. Med rummet mörklagt och med hjälp av lasern i kombination med rök- och partikelgeneratören kunde luftströmmarna under donet visualiseras.

Vid varje mätning varierades tilluftsflöde och undertemperatur. Variablerna har valts i samråd med AirSon.

Första typen av rökmaskin var kopplad till ett rör med öppning i spetsen där röken mynnade ut. Detta rör hölls för hand och rök spreds ut för hand strax under donet. För att minimera påverkan av att någon befinner sig i närhet av luftströmmarna kopplades röret till en förlängningsarm så att den som mätte kunde befinna sig på mer behörigt avstånd. Ett bildexempel på denna metod finnes i Figur 15.

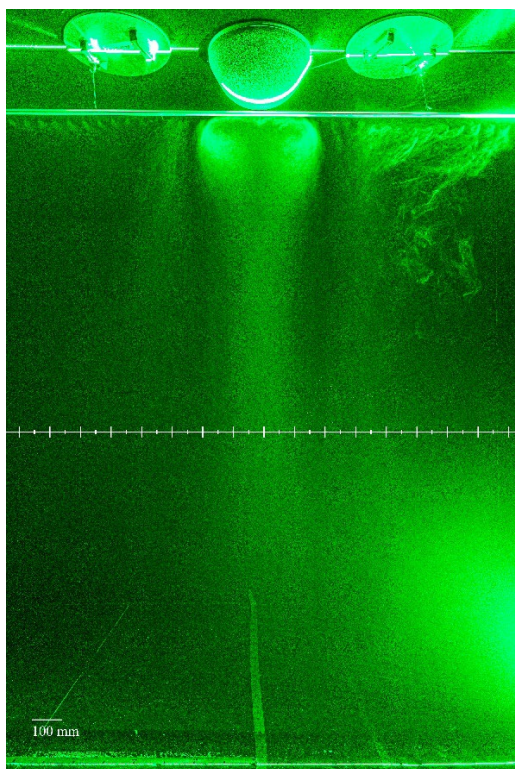
En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall



Figur 15, exempel på visualisering av spridningsbild med metoden för manuell introduktion av rök.

Den andra rökmaskinen var kopplad till ett rör igenpluggat i ändan med öppningar längs med stången. Dessa öppningar befann sig med jämna mellanrum och riktade åt samma håll. Stången placerades horisontellt direkt under centrum av donet med öppningarna riktade nedåt. Lasern riktades vertikalt och längs med stången. Ett bildexempel på denna metod finnes i Figur 16.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

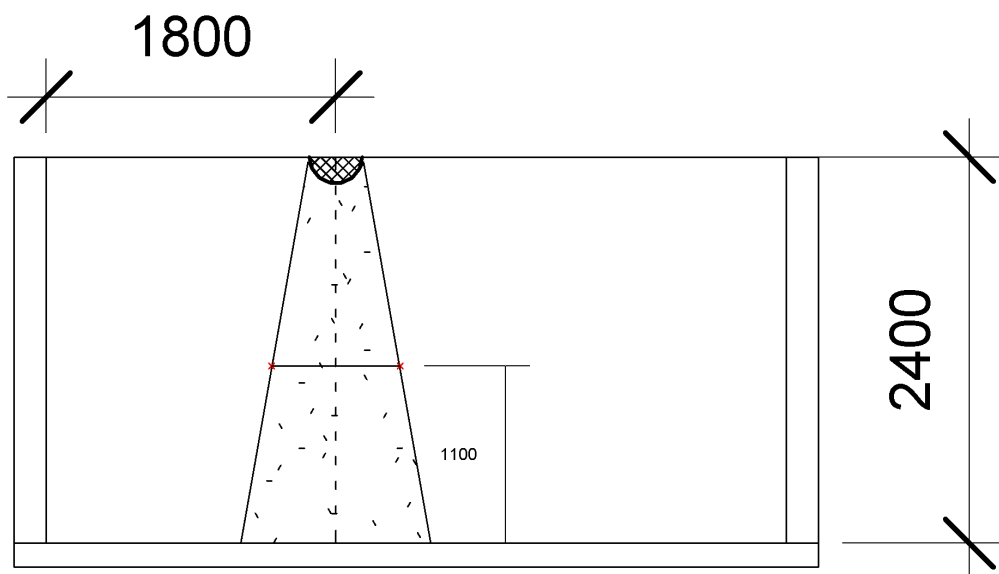


Figur 16, exempel på visualisering av spridningsbild med hjälp av rundrör med hål i.

Konturerna av tilluftstrålen kunde tolkas genom att analysera riktningen som röken färdades och former av röken så som till exempel virvlar. Syftet var att mäta diametern av spridningen av tilluften vid höjden 1,1 m vid varierande don, flöde och undertemperatur. Detta mättes manuellt med en tumstock.

Bilder togs med en slutartid på 30 sekunder för att kunna visualisera spridningen. Bilderna behandlades i mjukvara för att tydligare framhäva spridningsbildens konturer och underlätta analysen. Referensbilder togs på en tumstock i planet där lasern riktades för att möjliggöra korrekt avläsning av bilderna. Skalstocken som syns i Figur 15 och Figur 16 är baserade på referensbilderna av tumstocken. Kameran var placerad i linje med centrum av donet 90 grader från lasern på höjden 1,1 m med konstant avstånd och brännvidd. Schematisk bild över uppställningen för visualiseringen av spridningsbilden visas i Figur 17.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall



Figur 17, schematisk bild över uppställningen för visualisering av spridningsbild.

3.13 Undertemperatur

För att uppnå TLA var luften som tillfördes tvungen att vara kallare än vad temperaturen i rummet var. Detta gjordes genom att höja temperaturen i rummet så att tilluften skulle vara kallare än vad temperaturen i rummet var. För att säkerställa att undertemperaturen hölls mättes temperaturen i två referenspunkter. Referenspunkten för tilluften bestämdes i centrum av tilluftskanalen i mynningen mot prototypdonen. Referenspunkten för omgivande luft bestämdes längs med väggen 1,7 m över golvytan. I varje referenspunkt placerades ett termoelement som var kopplat till temperaturinstrumentet PicoScope TC-08 Data Logger som mätte temperatur.

I programmet tillhörande temperaturinstrumentet kunde temperaturerna i valda referenspunkter bevakas. Programmet ställdes in så att den varnade vid temperaturer som överskred en temperaturdifferens på 0,5 °C från vald måltemperatur. Måltemperaturen bestämdes genom att omgivande luft höll en högre temperatur än tilluften. Att undertemperaturen höll sig inom bestämt spektrum var ett villkor för att starta varje mätning. Om undertemperaturen lämnar detta spektrum under mätningen förklarades mätningen ogiltig och mätningen gjordes om.

Under mätningarna för kärnlinjen gjordes även mätningar utanför ventilationszonen på samma höjder. Vid en undertemperatur på 3 °C var det en skillnad på cirka 1 °C mellan en punkt utanför ventilationszonen på höjden 1,7 m från golvnivå och en punkt 0,1 m från golvnivå, där temperaturen närmst golvet var lägre. Vid en undertemperatur på 6 °C var det en skillnad på ungefär 2 °C mellan en punkt utanför ventilationszonen på höjden 1,7 m från golvnivå och en punkt 0,1 m från golvnivå, där temperaturen närmst golvet var lägre.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

4 Resultat

4.1 Kastlängd

Utbredning från donets centrum då lufthastigheten i horisontell riktning längs med golvytan underskrider 0,15 m/s och 0,20 m/s på höjden 0,1 m över golvytan. Presenteras i Tabell 2. Lufthastigheten avtar i förhållande till avståndet från centrum.

Tabell 2, presenterar undertemperatur, flöde och dontyp.

Under-temperatur / °C	Flöde / (l/s)	Lufthastighet ≤ 0,15 m/s, A1 / m	Lufthastighet ≥ 0,20 m/s, A1 / m	Lufthastighet ≤ 0,15 m/s, B1 / m	Lufthastighet ≥ 0,20 m/s, B1 / m
3	30,0	0,6	N/A*	0,6	N/A*
3	70,0	1,5	0,6	1,3	0,5
3	120,0	N/A**	1,6	N/A**	1,7
6	30,0	0,7	N/A*	0,9	N/A*
6	70,0	1,7	0,8	1,7	0,8
6	120,0	N/A**	2,0	N/A**	2,0

*Maximal uppmätt lufthastighet underskrider 0,20 m/s. **Lägsta lufthastighet underskrider inte 0,20 m/s innan det fysiska mätutrymmet blir begränsande. Risk för störningar från vägg vid längre avstånd från centrum.

Kastlängden varierar i relation till temperatur- och flödesförändring där kastlängden ökar vid ökat undertemperatur och flöde vilket presenteras i Tabell 2. Den procentuella ökningen av kastlängden beroende av undertemperatur och flöde presenteras i Tabell 3 respektive Tabell 4.

Tabell 3, presenterar procentuell ökning i kastlängd vid ökad temperaturskillnad från 3 till 6 graders undertemperatur.

Flöde / (l/s)	Lufthastighet ≤ 0,15 m/s, A1 (%)	Lufthastighet 0,20 ≥ m/s, A1 (%)	Lufthastighet ≤ 0,15 m/s, B1 (%)	Lufthastighet ≥ 0,20 m/s, B1 (%)
30	17%	N/A	50%	N/A
70	13%	33%	31%	60%
120	N/A	25%	N/A	18%

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

Tabell 4, presenterar procentuell ökning i kastlängd vid ökat flöde.

Undertemperatur / °C	Lufthastighet ≤ 0,15 m/s, A1 (%)	Lufthastighet 0,20 ≥ m/s, A1 (%)	Lufthastighet ≤ 0,15 m/s, B1 (%)	Lufthastighet ≥ 0,20 m/s, B1 (%)
3	150%	167%	117%	240%
6	143%	150%	89%	150%

Tabell 5, presenterar procentuell ökning i kastlängd från prototypdon A1 till B1.

Undertemperatur / °C	Flöde / (l/s)	Lufthastighet ≤ 0,15 m/s (%)	Lufthastighet ≤ 0,20 m/s (%)
3	30	0%	N/A
3	70	-13%	-17%
3	120	N/A	6%
6	30	29%	N/A
6	70	0%	0%
6	120	N/A	0%

Kastlängden varierar slumpartat beroende av dontyp som kan betraktas i Tabell 5. B1 har mindre kastlängd i jämförelse med A1 vid 3 graders undertemperatur och flödet 70 l/s. Vid andra mätpunkter som till exempel 3 och 6 graders undertemperatur vid 120 respektive 30 l/s har B1 större kastlängd än A1. Vissa mätningar påvisar ingen skillnad. Dessa resultat pekar inte på en konsekvent skillnad mellan donen.

4.2 Kärnlinje

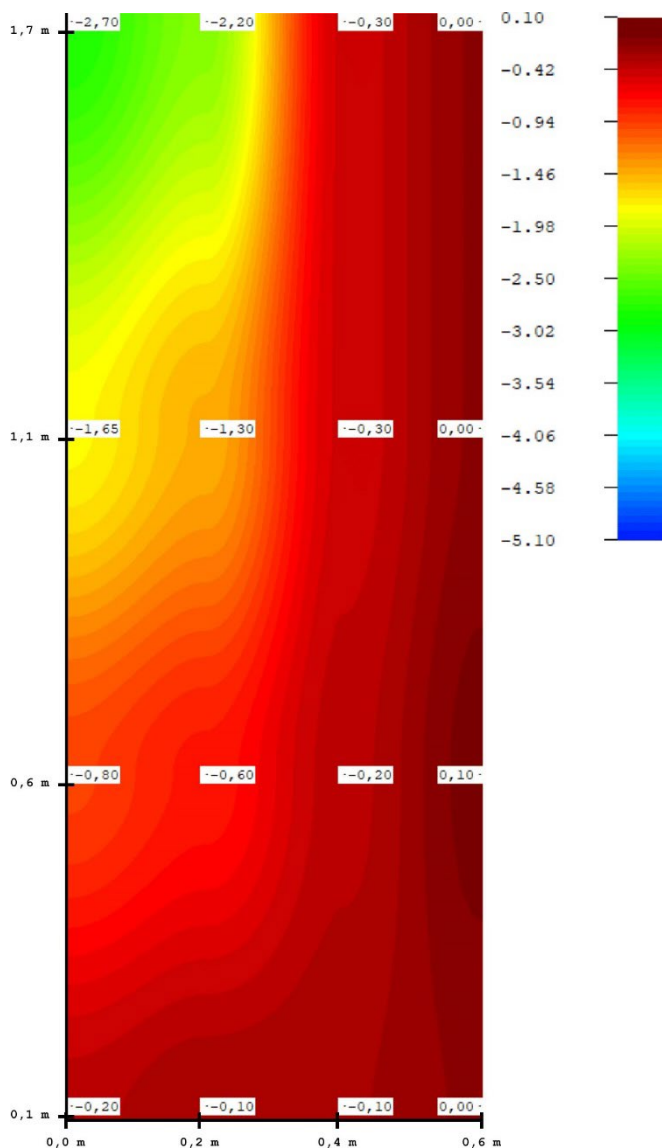
I kärnlinjemätningen har ett rutnät med mätpunkter gjorts där tilluftstemperaturen mäts för varje prototypdon. Rutnätet har haft x-koordinaterna; 0 m, 0,2 m, 0,4 m, 0,6 m utifrån donets centrumlinje i en riktning. Y-koordinaterna var; 0,1 m, 0,6 m, 1,1 m, 1,7 m vilket ger totalt 16 punkter per prototypdon. Flödet har varit konstant på 110 l/s under samtliga mätningar.

Figurerna nedan är framtagna med hjälp av programmet ”plot” som har tillhandagåtts av Dennis Johansson, avdelningschef på Installations- och klimatiseringslära på LTH. Där mätdata har med hjälp av programmet ”plot” som använder sig utav fourier transformatorer har omvandlat punkter till en grafisk representation. Punkterna som har uppmätts är endast där det står en temperatur i Figur 18, Figur 19, Figur 21, Figur 22 allt i mellan dessa punkter är en interpolering av programmet.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

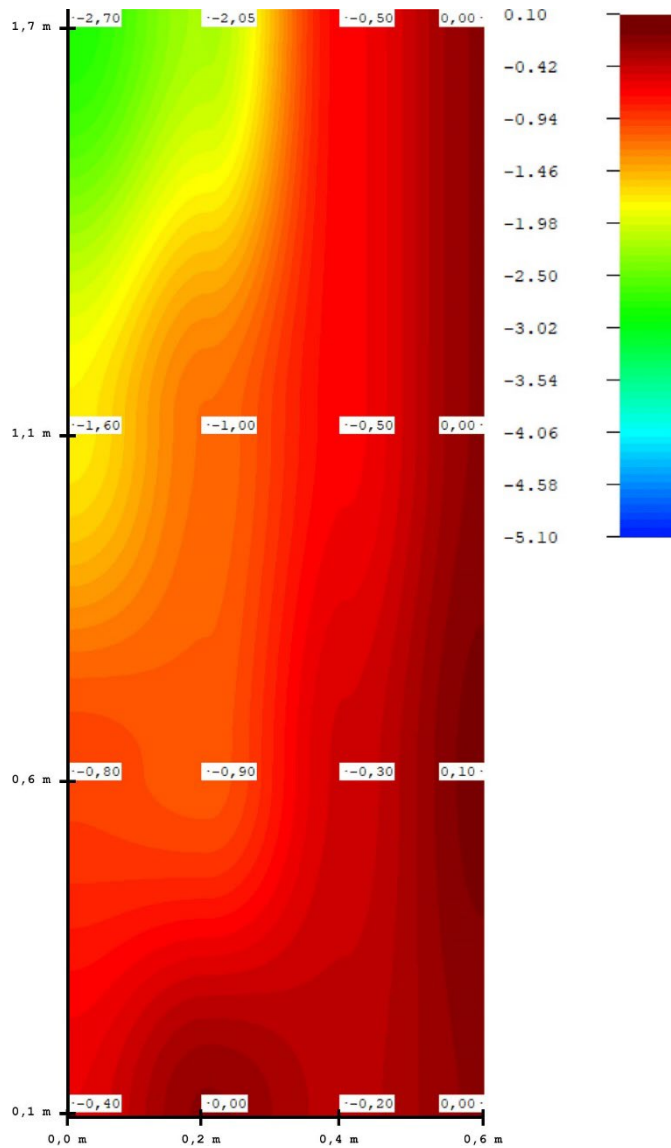
4.2.1 3 graders undertemperatur

Figur 18 och Figur 19 beskriver temperaturskillnaden i grader Celsius mellan tilluften och temperaturen utanför den ventilerade zonen. Ett negativt värde innebär att tilluften är kallare än vad temperaturen utanför den ventilerade zonen är. Temperaturskalan som används i Figur 18 och Figur 19 är till höger om respektive figur där blått är kallast, grönt mindre kallt än vad blått är och varmast är den röda färgen.



Figur 18, Prototypdon A1 vid 3 graders undertemperatur y-axeln visar höjden från golvnivån i meter. X-axeln redovisar utbredning från prototypdonets centrum utåt i en riktning i enheten meter.

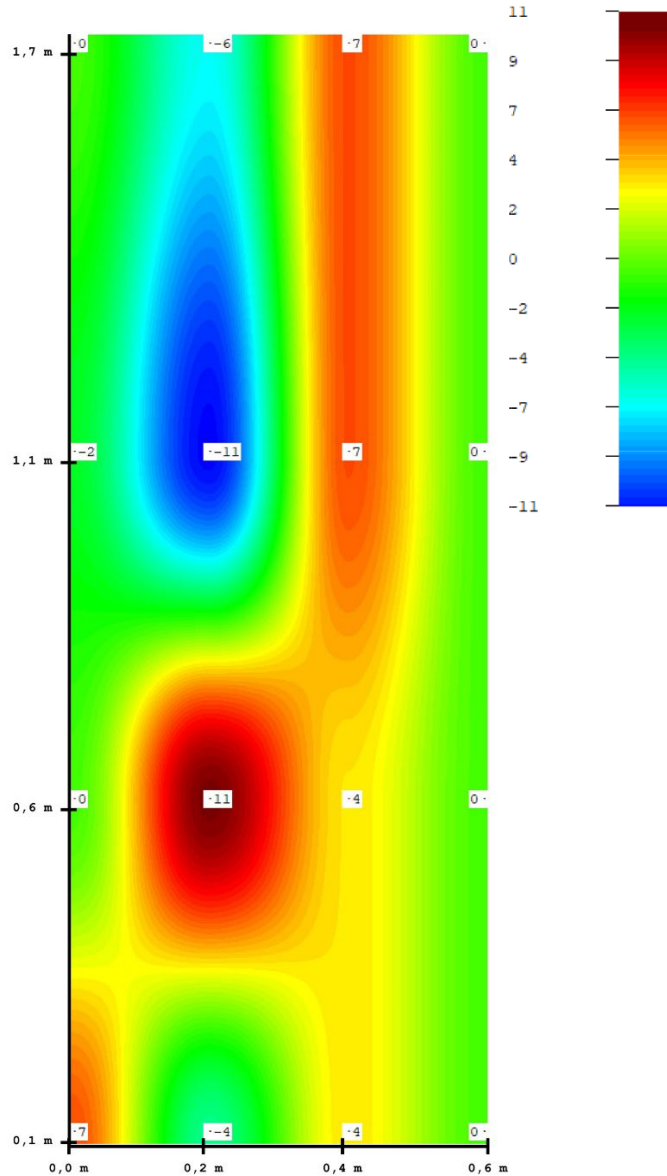
En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall



Figur 19, Prototypdon B1 vid 3 graders undertemperatur y-axeln visar höjden från golvnivån i meter. X-axeln redovisar utbredning från prototypdonets centrum utåt i en riktning i enheten meter.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

4.2.2 Skillnad i temperatur mellan A1 och B1 vid 3 graders undertemperatur



Figur 20, Skillnad i temperatur angett i procent mellan A1 och B1 $(A1-B1) / 2,7$ vid 3 graders undertemperatur. Temperaturskillnaden <0 betyder att A1 är kallare än B1. Temperaturskillnaden >0 betyder att A1 är varmare än B1. Y-axeln visar höjden från prototypdonets centrum utåt i en riktning i enheten meter X-axeln redovisar utbredning från prototypdonets centrum utåt i en riktning i enheten meter.

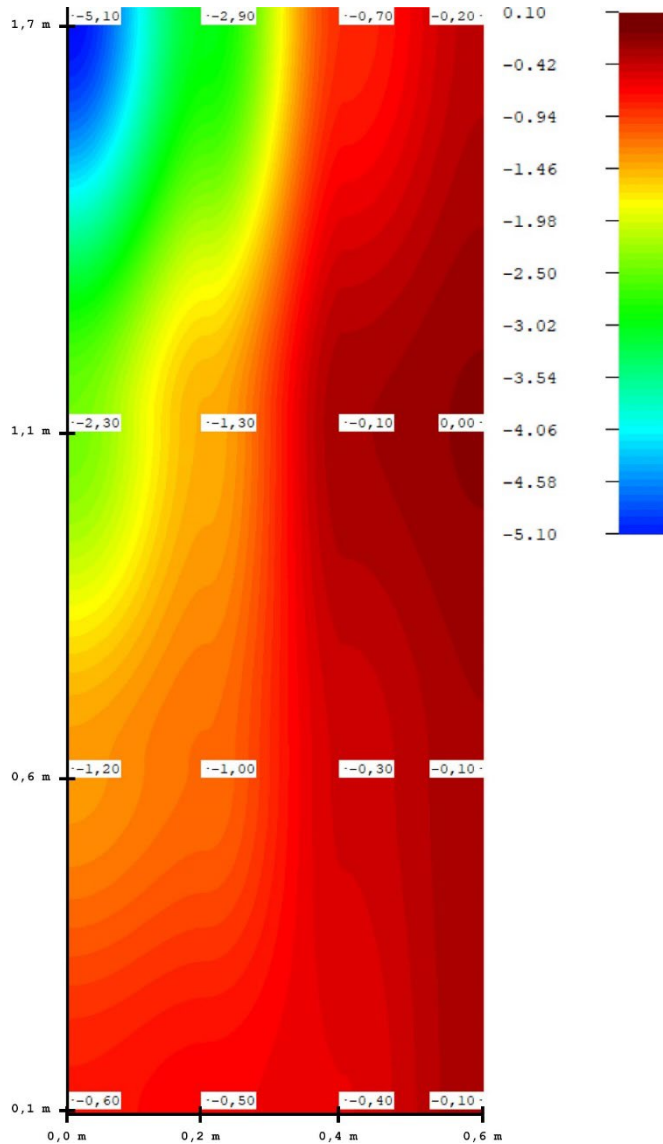
En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

Det som redovisas i Figur 20 är temperaturskillnaden i procent mellan de två olika prototypdonen. Där om den procentuella skillnaden är högre än 0 betyder det att prototypdon A är kallare än vad prototypdon B1 är i just den punkten. Om temperaturen är mindre än 0 betyder det att prototypdon A1 prototypen är kallare än prototypdon B1.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

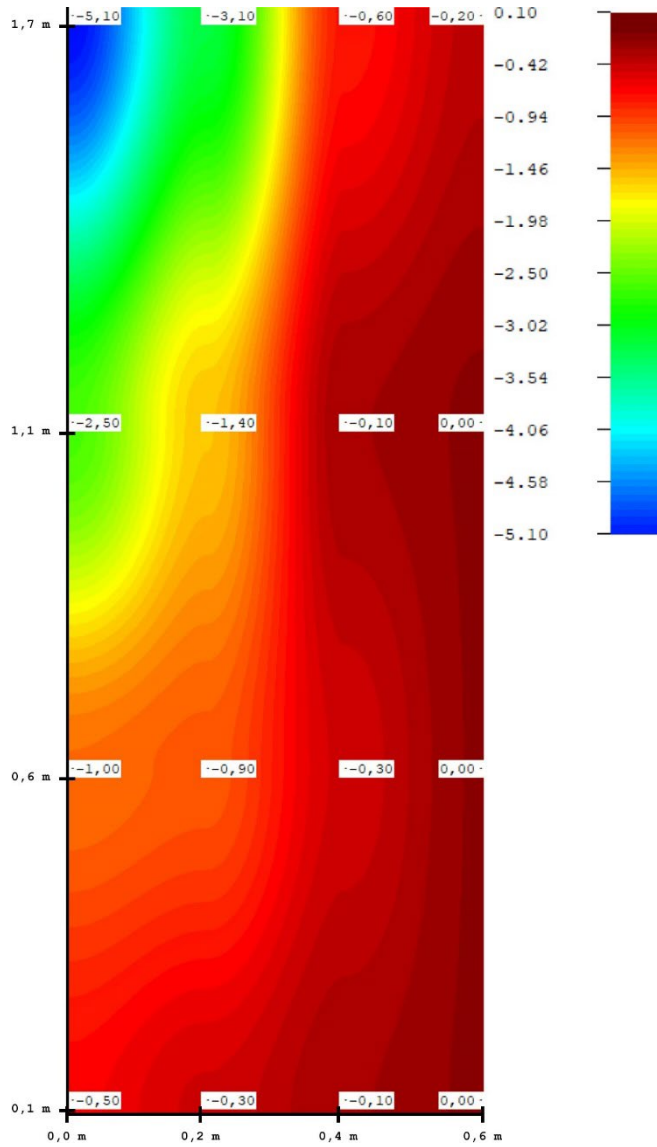
4.2.3 6 graders undertemperatur

Figur 21 och Figur 22 beskriver temperaturskillnaden i grader Celsius mellan tilluften och temperaturen utanför den ventilerade zonen. Ett negativt värde innebär att tilluften är kallare än vad temperaturen utanför den ventilerade zonen är. Temperaturskalan som används i Figur 21 och Figur 22 där blått är kallast, grönt mindre kallt än vad blått är och varmast är den röda färgen.



Figur 21, Prototypdon A1 vid 6 graders undertemperatur y-axeln visar höjden från golvnivån i meter. X-axeln redovisar utbredning från prototypdonets centrum utåt i en riktning i enheten meter.

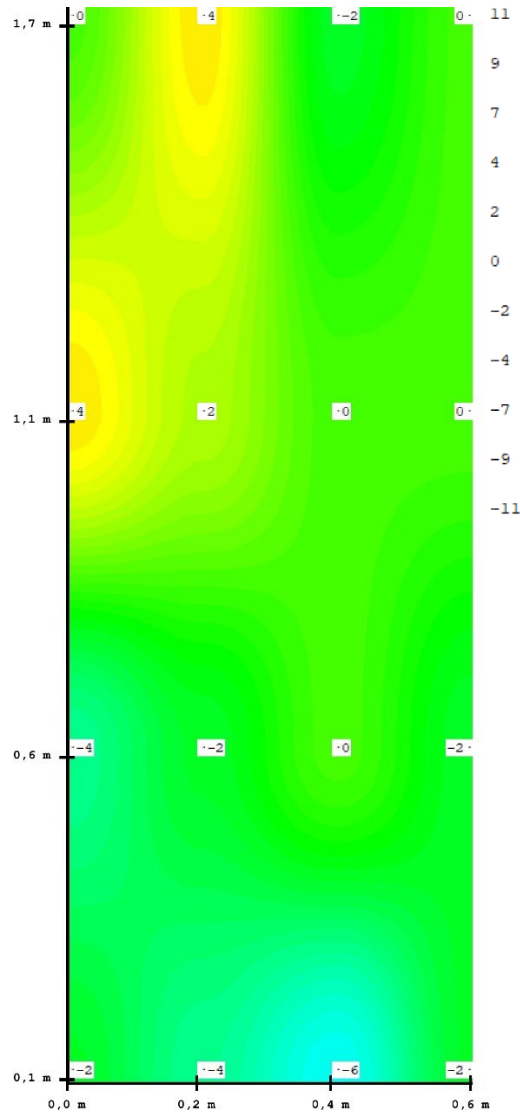
En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall



Figur 22, Prototypdon B1 vid 6 graders undertemperatur y-axeln visar höjden från golvnivån i meter. X-axeln redovisar utbredning från prototypdonets centrum utåt i en riktning i enheten meter.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

4.2.4 Skillnad i temperatur mellan A1 och B1 vid 6 graders undertemperatur



Figur 23, Skillnad i temperatur angivet i procent mellan A1 och B1 $(A1-B1) / 5,1$ vid 6 graders undertemperatur. Temperaturskillnaden <0 betyder att A1 är kallare än B1. Temperaturskillnaden >0 betyder att A1 är varmare än B1. Y-axeln visar höjden från golvnivån i meter. X-axeln redovisar utbredning från prototypdonets centrum utåt i en riktning i enheten meter.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

Det som redovisas i Figur 23 är temperaturskillnaden i procent mellan de två olika prototypdonen. Där om den procentuella skillnaden är högre än 0 betyder det att prototypdon A är kallare än vad prototypdon B1 är i just den punkten. Om temperaturen är mindre än 0 betyder det att prototypdon A1 prototypen är kallare än prototypdon B1.

4.3 Tryckfall

Samtliga don har haft samma tilluftsflöde vid varje mätning och vid givet flöde har tryckfallet över mätnippeln på donen mätts upp.

För att skapa normerat tryckfall för samma prototypdon har 3 olika don av samma prototyp testats och sedan kurvanpassats i programmet CurveExpert. Formen för tryckfallets relation till flöde har angetts på formen $y = x^a \cdot b$ där x betyder tryckfall och y är flöde. Programmet CurveExpert har beräknat fram konstanterna a och b . Konstanternas värden på a och b från CurveExpert har sedan används i den givna formeln $y = x^a \cdot b$ för att beräkna fram flödet för de olika prototypdonen som redovisas i Figur 24 för prototypdon A och Figur 25 för prototypdon B. Datan som CurveExpert har använt för att beräkna konstanterna a och b för prototypdon A visas i Tabell 6 och indatan som har används för att beräkna prototypdon Bs konstanter redovisas i Tabell 7.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

Tabell 6, Tabellen visar det uppmätta tryckfallet på donets mätnippel.

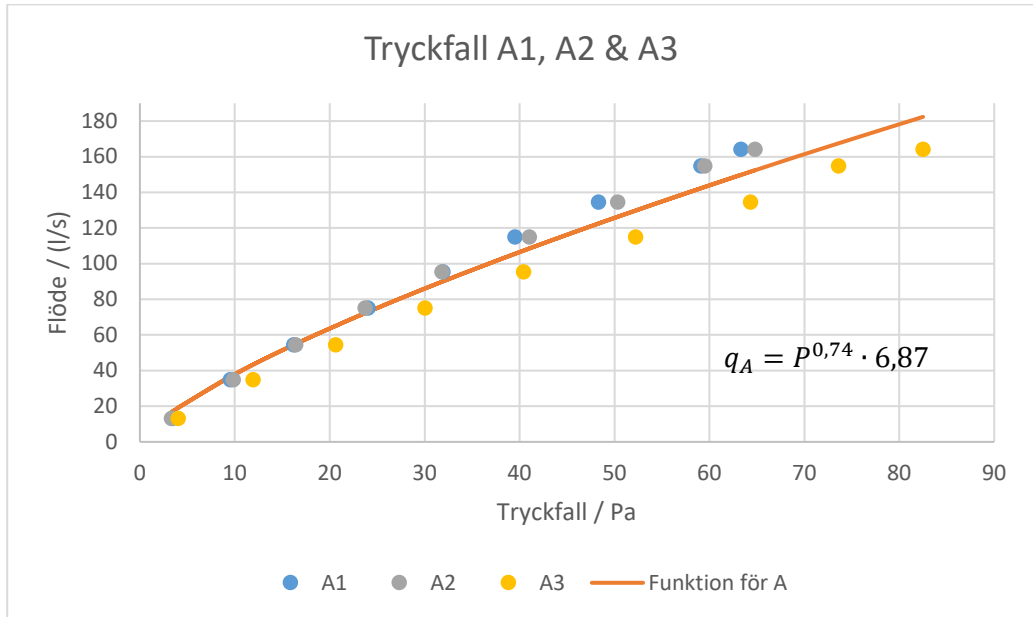
Tryckfall / Pa	Flöde / (l/s) Beräknat	Flöde / (l/s) Uppmätt	Don	Skillnad i flöde / (l/s)	Skillnad i flöde / %
3,4	17,1	13,3	A1	3,8	28%
9,5	36,6	35,0		1,6	5%
16,2	54,4	54,4		0,0	0%
24	72,9	75,2		-2,4	-3%
31,9	90,0	95,5		-5,5	-6%
39,5	105,5	115,0		-9,5	-8%
48,3	122,5	134,6		-12,1	-9%
59,1	142,3	155,0		-12,6	-8%
63,3	149,8	164,2		-14,4	-9%
3,3	16,7	13,3	A2	3,4	26%
9,8	37,4	35,0		2,4	7%
16,4	54,9	54,4		0,5	1%
23,7	72,2	75,2		-3,1	-4%
31,8	89,8	95,5		-5,7	-6%
41	108,5	115,0		-6,6	-6%
50,3	126,2	134,6		-8,4	-6%
59,5	143,0	155,0		-11,9	-8%
64,8	152,4	164,2		-11,8	-7%
4	19,2	13,3	A3	6,0	45%
11,9	43,3	35,0		8,3	24%
20,6	65,0	54,4		10,6	19%
30	86,0	75,2		10,8	14%
40,4	107,3	95,5		11,8	12%
52,2	129,8	115,0		14,8	13%
64,3	151,5	134,6		16,9	13%
73,6	167,5	155,0		12,6	8%
82,5	182,3	164,2		18,2	11%

Det beräknade flödet med ekvationen från CurveExpert och det uppmätta flödet i kanalen mätt på flödesmätspjäll för A1, A2 & A3. Tabell 6 visar även skillnaden mellan det uppmätta flödet och det beräknade flödet för donen i liter per sekund och i procent. Skillnaden i flöde för fallet liter per sekund har det beräknade flödet subtraherats med det uppmätta flödet i kanalen. För den procentuella skillnaden har det beräknade flödet

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

dividerats med det uppmätta flödet i kanalen och sedan har 1 subtraherats från kvoten för att få rätt procentuell skillnad.

För att sedan jämföra hur formeln med de framtagna konstanterna från CurveExpert förhåller sig till mätdata har det beräknade flödet lagts in i samma diagram som för mätpunkterna vilket redovisas i Figur 24.



Figur 24, Punkterna i figuren är uppmätta punkter från 3 olika don av samma prototyp i detta fall prototyp A. Figuren visar förhållandet mellan tryckfall på y-axeln och flöde på x-axeln. "Funktionen för A" är gjord med hjälp av programmet CurveExpert.

Konstanterna a och b som CurveExpert genererar ger följande formel: $q_A = P^{0,74} \cdot 6,87$ som används när tryckfallet är känt för att få flödet för prototypdon A.

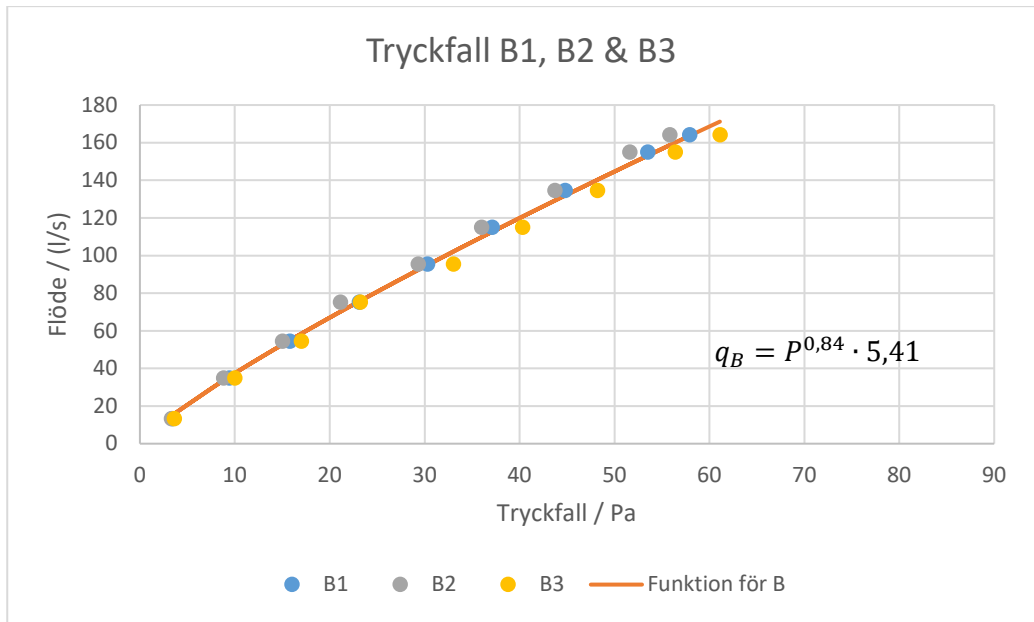
En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

Tabell 7, Tabellen visar det uppmätta tryckfallet på donets mätnippel.

Tryckfall / Pa	Flöde / (l/s) Beräknat	Flöde / (l/s) Uppmätt	Don	Skillnad i flöde / (l/s)	Skillnad i flöde / %
3,4	15,1	13,3	B1	1,8	14%
9,4	35,5	35,0		0,5	2%
15,8	55,0	54,4		0,5	1%
23,1	75,6	75,2		0,4	1%
30,3	95,0	95,5		-0,5	-1%
37,1	112,6	115,0		-2,4	-2%
44,8	131,9	134,6		-2,7	-2%
53,5	153,1	155,0		-1,8	-1%
57,9	163,6	164,2		-0,5	0%
3,3	14,7	13,3	B2	1,5	11%
8,8	33,6	35,0		-1,4	-4%
15,0	52,6	54,4		-1,8	-3%
21,1	70,1	75,2		-5,1	-7%
29,3	92,3	95,5		-3,1	-3%
36,0	109,8	115,0		-5,2	-5%
43,7	129,2	134,6		-5,5	-4%
51,6	148,5	155,0		-6,4	-4%
55,8	158,6	164,2		-5,5	-3%
3,6	15,9	13,3	B3	2,6	19%
10,0	37,4	35,0		2,4	7%
17,0	58,4	54,4		4,0	7%
23,2	75,9	75,2		0,7	1%
33,0	102,0	95,5		6,6	7%
40,3	120,7	115,0		5,7	5%
48,2	140,3	134,6		5,6	4%
56,4	160,1	155,0		5,1	3%
61,1	171,2	164,2		7,0	4%

Det beräknade flödet med ekvationen från CurveExpert och det uppmätta flödet i kanalen mätt på flödesmätspjäll för B1, B2 & B3. Tabell 7 visar även skillnaden mellan det uppmätta flödet och det beräknade flödet för donen i liter per sekund och i procent. Skillnaden i flöde för fallet liter per sekund har det beräknade flödet subtraherats med det uppmätta flödet i kanalen. För den procentuella skillnaden har det beräknade flödet

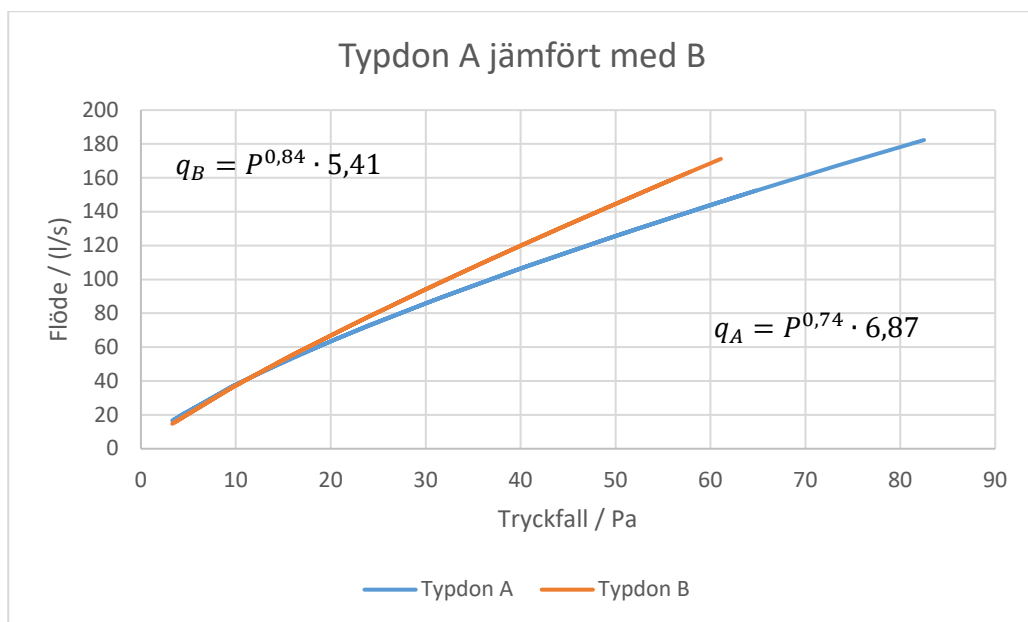
En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall dividerats med det uppmätta flödet i kanalen och sedan har 1 subtraherats från kvoten för att få rätt procentuell skillnad.



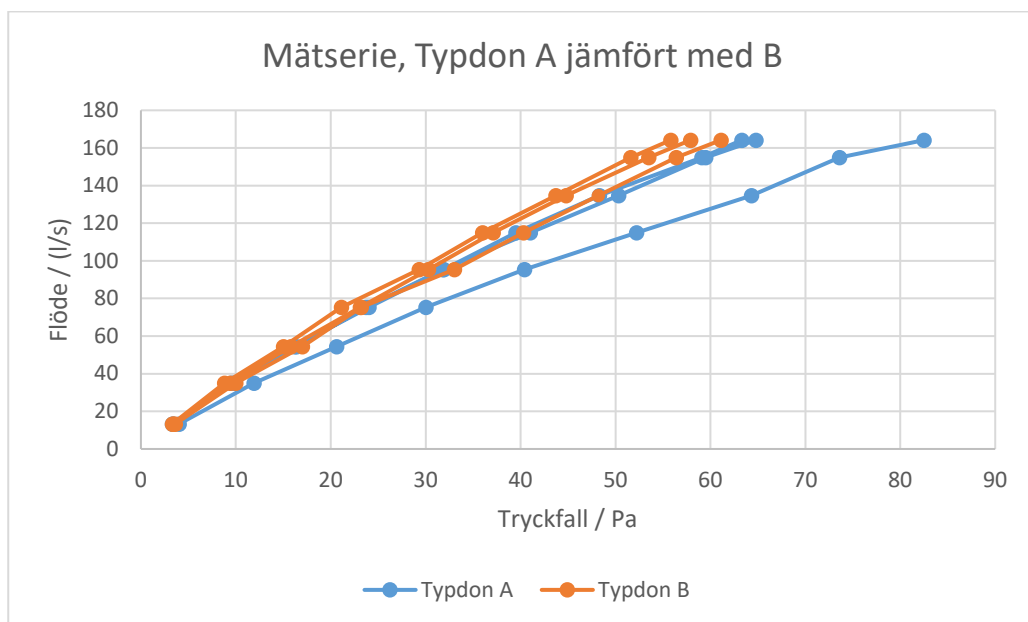
Figur 25, Punkterna i figuren är uppmätta punkter från 3 olika don av samma prototyp i detta fall prototyp A. Figuren visar förhållandet mellan tryckfall på y-axeln och flöde på x-axeln. "Funktionen för A" är gjord med hjälp av programmet CurveExpert.

Konstanterna a och b som CurveExpert genererar ger följande formel: $q_B = P^{0,84} \cdot 5,41$ som används när tryckfallet är känt för att beräkna flödet för prototypdon B vilket redovisas i Figur 25.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

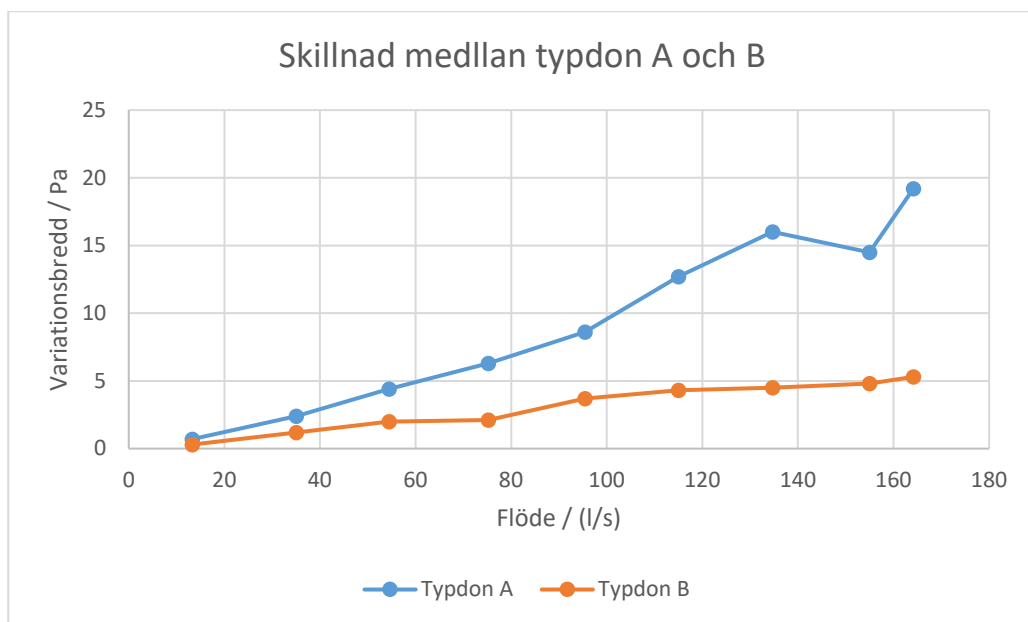


Figur 26, En jämförelse mellan de olika prototypdonens beräknade flöde med hjälp av respektive prototypdons ekvationer q_A och q_B . Flödet på y-axeln och tryckfallet på x-axeln. Den blåa linjen avser prototypdon av typen A och den orange avser prototypdon av typen B.



Figur 27, Figuren redovisar hur varje prototypdon förhåller sig inom sin typ. Flödet på y-axeln och tryckfallet på x-axeln. Donen som redovisas är A1, A2 och A3 och har blå färg. Den orange färgen motsvaras donen B1, B2 och B3. De sammanbinda linjerna mellan punkterna är endast för att göra en enklare jämförelse utav varje typdon.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall



Figur 28, Figuren redovisar variationsbredden i pascal mellan de olika typerna av prototypdon beroende på tilluftsflöde i liter per sekund.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

4.4 Visuell spridningsbild

4.4.1 Mätserie 1

Spridningsbildens bredd är uppmätt med hjälp av rökgenerator och tumstock. Donen som undersökts i denna mätserie är A1 och B1. Spridningsbildens bredd är uppmätt på höjden 1,1 m över golvytan. Variablerna som spridningsbildens bredd undersöks beror av är undertemperaturerna 3 °C och 6 °C på tillförd luft, flödena 30 l/s, 70 l/s och 120 l/s, dontyp och don. Diametern på spridningsbilderna är avläst med hjälp av tumstock. Resultaten för spridningsbildens bredd presenteras i Tabell 8 och skillnaden mellan donen presenteras i Tabell 9.

Tabell 8, presenterar spridningsbilderna av donen A1 och B1 vid varierande undertemperatur och flöde.

Undertemperatur / °C	Flöde / (l/s)	Spridningsbild, A1 / m	Spridningsbild, B1 / m
3	30	0,6	0,6
3	70	0,8	0,8
3	120	1,1	1,0
6	30	0,6	0,5
6	70	0,8	0,8
6	120	1,1	1,0

Tabell 9, presenterar procentuell minskning av spridningsbilderna från prototypdon A1 till B1.

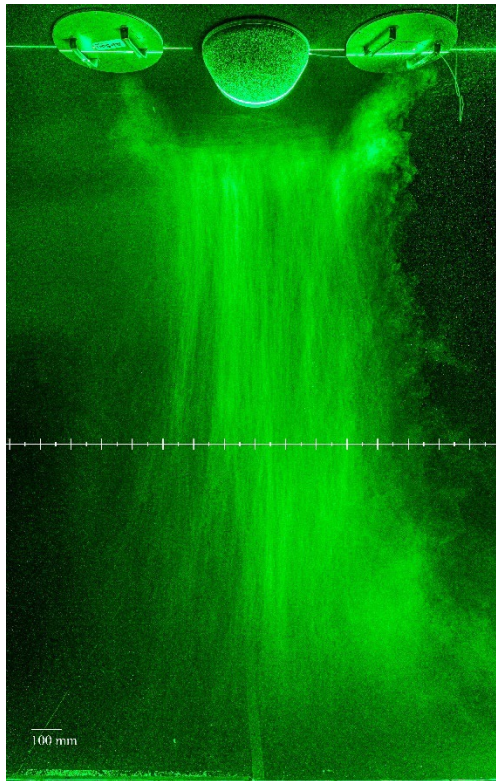
Undertemperatur / °C	Flöde / (l/s)	Spridningsbild (%)
3	30	0%
3	70	0%
3	120	10%
6	30	20%
6	70	0%
6	120	10%

Spridningsbildens bredd varierar i relation till flödet oberoende av varierande undertemperatur. Spridningsbildens bredd tenderar till att variera beroende av dontyp där dontyp A har något bredare spridningsbild än B.

4.4.2 Mätserie 2

Spridningsbildens bredd är avläst från bilder på röken från rökgeneratören. En exempelbild på spridningsbilderna med skalstock visas i Figur 29. Donen som undersökts i denna mätserie är A1, A3 och B1. Spridningens bredd är uppmätt på höjden 1,1 m över golvytan. Variablerna som spridningsbildens bredd undersöks beror av är undertemperaturerna 3 °C och 6 °C på tillförd luft, flödena 30 l/s, 70 l/s och 120 l/s,

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall dontyp och don. Resultaten för spridningsbildens bredd presenteras i Tabell 10 och skillnaden mellan donen presenteras i Tabell 11.



Figur 29, Exempelbild på rök från rökgenerator som användes vid avläsning av spridningsbildens diameter.

Tabell 10, presenterar spridningsbilden av donen A1, A3 och B1 vid varierande undertemperatur och flöde. Diametern av spridningsbildens bredd är avläst från bilder tillhörande mätserie 2.

Undertemperatur °C	Flöde / (l/s)	Spridningsbild, A1 / m	Spridningsbild, A3 / m	Spridningsbild, B1 / m
3	30	0,60	0,60	0,50
3	70	0,85	1,00	0,70
3	120	1,05	1,05	0,80
6	30	0,60	0,50	0,50
6	70	0,70	0,70	0,65
6	120	0,85	0,85	0,70

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

Tabell 11, presenterar procentuell minskning av spridningsbilden från medelvärdet av prototypdon A1 och A3 till B1. Värdena för spridningsbilden av prototypdonen är tagna från Tabell 10.

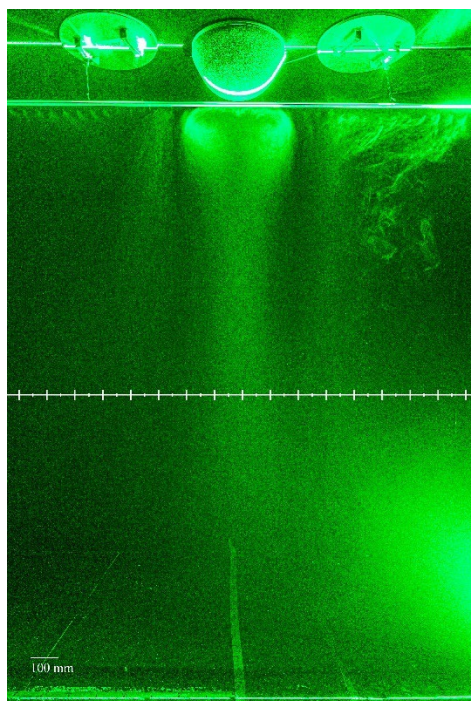
Undertemperatur / °C	Flöde / (l/s)	Spridningsbild (%)
3	30	20%
3	70	32%
3	120	31%
6	30	10%
6	70	8%
6	120	21%

Spridningsbildens bredd varierar i relation till flöde och undertemperatur. Spridningsbildens diameter blir bredare vid högre flöde och snävare vid högre undertemperatur. Spridningsbildens bredd tenderar till att variera beroende av dontyp där dontyp A har något bredare spridningsbild än B. Variation mellan don av samma dontyp kan avläsas där A3 tenderar till att ha något bredare spridningsbild än A1.

4.4.3 Mätserie 3

Spridningsbildens bredd är avläst från bilder på röken från partikelgenerator samt uppmätt med tumstock vid tillfället då bilderna togs. En exempelbild på spridningsbilden med skalstock visas i Figur 30. Donen som undersökts i denna mätserie är A1, A2, A3, B1, B2 och B3. Spridningens bredd är uppmätt på höjden 1,1m över golvytan. Variablerna som spridningsbildens bredd undersöks bero av är undertemperaturerna 3 °C och 6 °C på tillförd luft, dontyp och don. Flödet är konstant 110 l/s. Resultaten för spridningsbildens bredd presenteras i Tabell 12 och Tabell 14 och skillnaden mellan donen presenteras i Tabell 13 och Tabell 15.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall



Figur 30, Exempelbild på rök från partikelgenerator som användes vid avläsning av spridningsbildens diameter.

Tabell 12, presenterar spridningsbilden mätt med hjälp av bilder, av A1, A2, A3, B1, B2 och B3 vid undertemperaturerna 3 °C och 6 °C på tillförd luft vid konstant flöde på 110 l/s.

Undertemperatur / °C	A1 / m	A2 / m	A3 / m	B1 / m	B2 / m	B3 / m
3	0,80	0,80	0,75	0,65	0,75	0,70
6	0,60	0,65	0,65	0,55	0,60	0,60

Tabell 13, presenterar procentuell minskning av spridningsbilden från prototypdon A till B vid undertemperaturerna 3 °C och 6 °C på tillförd luft vid konstant flöde på 110 l/s.

Undertemperatur / °C	Spridningsbild (%)
3	12%
6	9%

Värdena för spridningsbilden av prototypdonen som presenteras i procentuell minskning i Tabell 13 är tagna från Tabell 12.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

Tabell 14, presenterar spridningsbilden mätt för hand, av A1, A2, A3, B1, B2 och B3 vid undertemperaturerna 3 °C och 6 °C på tillförd luft vid konstant flöde på 110 l/s.

Undertemperatur / °C	A1 / m	A2 / m	A3 / m	B1 / m	B2 / m	B3 / m
3	0,75	0,80	0,80	0,65	0,60	0,65
6	0,65	0,65	0,65	0,60	0,60	0,60

Diametern av spridningsbildens bredd är uppmätt med tumstock vid tillfället då bilderna tillhörande mätserie 3 togs.

Tabell 15, presenterar procentuell minskning av spridningsbilden från medelvärdet av prototypdon A1, A2 och A3 till medelvärdet av prototypdon B1, B2 och B3.

Undertemperatur / °C	Spridningsbild (%)
3	24%
6	8%

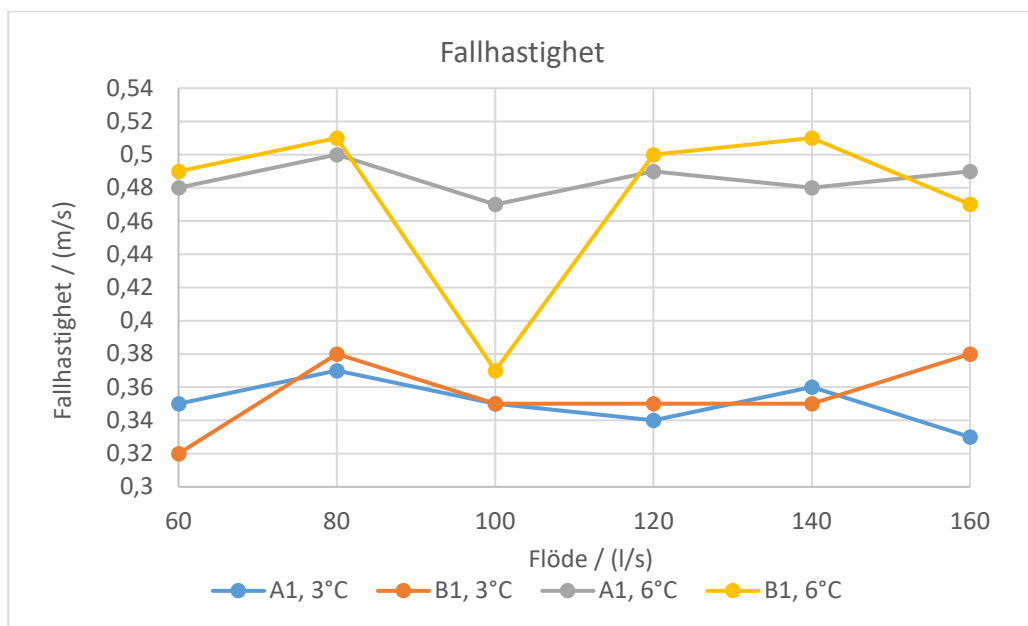
Värdena för spridningsbilden av prototypdonen som presenteras i procentuell minskning i Tabell 15 är tagna från Tabell 14.

Spridningsbildens bredd tenderar till att variera beroende av dontyp och undertemperatur. Dontyp A har något bredare spridningsbild än B. Variation mellan don av samma dontyp kan antydast. Störst variation i spridningsbildens diameter på grund av undertemperatur är dontyp A. Minst variation i spridningsbildens diameter på grund av undertemperatur är dontyp B. Spridningsbildens diameter blir snävare vid högre undertemperatur.

4.5 Fallhastighet

Fallhastigheten i Figur 31 är uppmätt i vertikal linje med centrum av donet på höjden 1,1 m över golvytan.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall



Figur 31, presenterar hur fallhastigheten varierar med don, undertemperatur och flöde. Mätpunkten är belägen i linje med centrum av don på höjden 1,1 m över golv. X-axeln avser flöde i enheten liter per sekund och y-axeln avser fallhastigheten i enheten meter per sekund.

Punkterna i Figur 31 representerar mätpunkter och linjerna sammanbinder dessa utan innebörd. Blå punkter och linjer representerar donet A1 vid undertemperaturen 3 °C på tillförd luft. Orangea punkter och linjer representerar donet B1 vid undertemperaturen 3 °C på tillförd luft. Grå punkter och linjer representerar donet A1 vid undertemperaturen 6 °C på tillförd luft. Gula punkter och linjer representerar donet B1 vid undertemperaturen 6 °C på tillförd luft.

Tabell 16, presenterar procentuell ökning av lufthastigheten från prototypdon A1 till B1.

Flöde / (l/s)	Undertemperatur 3 °C	Undertemperatur 6 °C
60	-9%	2%
80	3%	2%
100	0%	-21%
120	3%	2%
140	-3%	6%
160	15%	-4%
Medel	2%	-2%
Median	1%	2%
Medel exkl. 100 l/s	2%	2%
Median exkl. 100 l/s	3%	2%

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

Värdena för fallhastigheten av prototypdonen är tagna från Figur 31. Medel- och medianvärdena är baserade på den procentuella ökningen i fallhastighet för korresponderande kolumn i Tabell 16. Medel- och medianvärdet presenteras även för den procentuella ökningen i fallhastighet inklusive och exklusive den avvikande mätningen vid 100 l/s.

Fallhastigheten tenderar till att variera beroende av undertemperatur och oberoende av flöde. En tendens till att B1 har i genomsnitt 2 % högre fallhastighet än A1 oberoende av undertemperatur och flöde kan antydast. Den gula punkten tillhörande B1 vid undertemperaturen 6 °C på tillförd luft och flödet 100 l/s betraktas som mätfel på grund av starkt avvikande mätvärde.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

5 Diskussion

Till en början fanns det ingen konkret tanke bakom beslutet att mäta omgivande temperatur på 1,7 m höjd. Reflektionen över vald referenspunkt anträffades först i samband med mätning av kärnlinjen där temperaturen i flera punkter mättes upp. Vissa punkter i denna mätning gjordes utanför ventilationszonen. Det var vid dessa mätningar som det upptäcktes en mätbar skillnad i temperatur beroende av höjden i omgivande luft.

Efter att denna upptäckt gjordes uppdragades frågan vilken höjd som var bäst lämpad att användas som referenspunkt för omgivande luft vid beräkning av undertemperatur. Detta för att få representativa mätvärden på samtliga mätningar. Då en stor del av mätningarna redan var gjorda med referenspunkten 1,7 m över golvnivå valdes denna punkt att fortsatt användas i resterande mätningar.

5.1 Kastlängd

Baserat på resultaten i Tabell 3 och Tabell 4 i kapitel 4.1 varierar kastlängden beroende av undertemperatur och flöde. På grund av viss mätosäkerhet vid låga lufthastigheter kan variationerna mellan donen betraktas som slumpmässiga. Bland de variationer som finns vid jämförelse av dontyp under samma förhållanden återfinns ingen uppenbar trend med att den ena dontypen skulle ha konsekvent kortare eller längre kastlängd än den andra.

Kastlängden ökar vid en förändring av undertemperaturen på tillförd luft från 3 °C till 6 °C enligt Tabell 3 i 4.1. Jämförs detta resultat med resultatet i fallhastighetsmätningen, där hastigheten blev högre vid ökad undertemperatur är detta något som skulle kunna ha inverkan på kastlängden. Anledningen till varför det skulle ha en inverkan är att hastigheten skulle vara högre vid golvnivå och därmed leda till en ökad kastlängd vid större undertemperaturer.

Kastlängden ökar i relation med ökat flöde enligt Tabell 4 i kapitel 4.1. Jämförs däremot detta resultat med resultatet för vertikal fallhastighet finnes inget samband mellan kastlängd och fallhastighet då fallhastigheten inte beror av flödet. Resultatet för fallhastighet tyder på att fallhastigheten är konstant oberoende av flöde.

Jämförs resultatet för kastlängd med avseende på variation av flöde i stället med resultatet för spridningsbildens diameter i genomsnitt med cirka 0,2 meter för varje mätpunkt. Detta bör innebära att kastlängden också ökar på grund av att spridningsbildens diameter är bredare vilket den i detta fall gör.

5.2 Kärnlinje

5.2.1 3 graders undertemperatur

I Figur 20 redovisas skillnaderna mellan A1 och B1 där den röda zonen i bilden illustrerar att prototypdon B1 har en större inverkan på temperaturen än vad A1 har i

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

samma zon. Då prototypdonet B1 påverkar temperaturen mer längre ifrån prototypdonets centrumlinje tolkas resultatet därmed som att B1 har större spridningsbild än vad A1 donet har.

Dessutom finns det i Figur 20 samtidigt en blå zon närmare centrumlinjen där prototypdon A1 är kallare än vad är B1. Detta då prototypdon A1 kyler mer nära donet än vad det kyler längre ifrån donets centrum. Att A1 kyler mer nära donet än långt ifrån är stämmer överens med förgående resonemang. Detta är då på grund utav att prototypdon A1 inte sprider sin undertempererade luft lika långt som B1 gör.

Däremot är resultatet att prototypdon A1 har snävare spridningsbild än vad B1 har något som går emot resultatet i kapitel 4.4 Visuellt spridningsbild. Detta innebär att antingen att resultatet från Visuellt spridningsbild har gett felaktiga resultat eller att signifikansnivån på 7 – 11 % är för lite för att ha någon nämnvärd inverkan på spridningsbilden.

För att uppvisa någon skillnad i spridningsbild behöver en högre signifikansnivå antas. Vilket betyder att temperaturtestet varken säger emot eller för att spridningsbilden är större för det ena eller andra prototypdonet.

5.2.2 6 graders undertemperatur

I Figur 23 presenteras skillnaden i temperatur mellan A1 och B1 vid 6 graders temperaturskillnad. I Figur 23 är temperaturen relativt homogent och uppvisar skillnader på maximalt +/- 4 %. Då inga slutsatser kunde dras om spridningsbilden hade förändrats i fallet för 3 graders undertemperatur vilket hade en större procentuell skillnad går det ej att avgöra att det ena prototypdonet skulle ha mindre eller större spridningsbild än det andra. Om någon slutsats ska dras har skillnaden mellan prototypdonen minskat med större undertemperatur.

Vart signifikansnivån i temperatur bör ligga för att uppvisa nämnvärd skillnad har ej undersökts och kärnlinjemätningens tolkning beror till stor del på vilken nivå signifikans antas på. Skulle signifikansnivån vara på 5 % har mätningen uppvisat att B1 är bredare än A1, däremot gäller detta endast för 3 graders undertemperatur. Skulle signifikansnivån antas vara på 20 % är prototypdonen lika.

Däremot har kapitel 4.4 Visuellt spridningsbild gett motsatt resultat vilket leder till att det antas att signifikansnivån ligger över 7 – 11 %. Och då signifikansnivån ligger över 11 % kan ej någon slutsats dras av vårt resultat i kärnlinjemätningen kopplat till vilket prototypdon som skulle ha bredare eller snävare spridningsbild än den andra.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

5.3 Tryckfall

5.3.1 Prototypdon A

Figur 24 visar hur flödet för prototypdon A förhåller sig till ett visst tryckfall där donen A1, A2 och A3 har testats. Tolkningen är att don A1 och A2 förhåller sig relativt lika under hela mätintervallet men börjar avvika något vid tryckfall över 40 Pa. Däremot är det relativt små variationer mellan prototypdonen A1 och A2 till skillnad från prototypdon A3 som har större avvikelser.

Högsta tryckfallet för prototypdonen A1 och A2 uppvisades vid 164 l/s var på 63,3 Pa respektive 64,8 Pa. Prototypdonet A3 har konsekvent större tryckfall vid samma tilluftsflöde vilket ökar vid de stora tryckfallen där A3 skiljer cirka 20 Pa jämfört med A1 och A2.

Förhållandet mellan de olika prototypdonen sker konsekvent genom hela mätningen, förutom de punkter då A1 och A2 har samma tryckfall. I Figur 27 redovisas skillnaderna mellan de olika prototypdonen där A1 är det prototypdon med lägst tryckfall genom hela mätningen följt av prototypdon A2 och sist med störst tryckfall vid samma flöde har prototypdon A3.

På grund av den begränsade mängden av testade don är det svårt att dra säkra slutsatser. Vad som går att avläsa med de givna mätvärdena är att det finns skillnader i tryckfall mellan de olika prototypdonen av samma typ.

5.3.2 Prototypdon B

Figur 25 visar hur flödet för prototypdon B förhåller sig till ett visst tryckfall där donen B1, B2 och B3 har testats. Prototypdonen har samma flöde vid det lägsta tryckfallet för att sedan växa ifrån varandra allt eftersom tryckfallet ökar. I Figur 28 redovisas skillnaden i tryckfall för prototypdonen B, där det är som högst skillnad vid 164 l/s och tryckfallet är cirka 5 Pa.

Som det även nämndes för prototypdon A så är det svårt att dra säkra slutsatser på en liten mängd testade don, men tryckfallet inom prototypdon B varierar som mest vid höga flöden och uppgår till ca 5 Pa vid 164 l/s.

Ekvationerna för båda prototypdonen redovisats i Figur 26 där det tydligt visas att prototypdon B uppnår samma flöde vid lägre tryckfall, upp emot 20 Pa skillnad jämfört mot prototypdon A vid de högsta flödena vilket i detta fall var på 164 l/s.

I Figur 27 redovisas varje prototypdons mätpunkter i samma figur för att redovisa hur prototypdonen skiljer sig. Prototypdon B har i figuren en mer samlad mätserie än vad prototypdon A har variansbredden mellan varje typ av prototypdon redovisas i Figur 28.

Prototypdon A har egentligen en liten spridning men det är ett don som avviker kraftigt från de övriga 2 och bidrar till den stora skillnaden i tryckfall. Återigen kommer frågan

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall kring hur flera don av respektive prototyp hade förhållit sig. Med endast 3 don är det svårt att avgöra huruvida det egentligen skiljer sig inom prototypdonen.

Det är olika material beroende på typ av prototypdon och med den begränsade mängd don som har undersökts är det därför svårt att dra generella slutsatser om hur tryckfall förhåller sig på en större mängd. Utifrån våra tester går det dock att avläsa att prototypdonen A har en större spridning inom sin dontyp än vad prototypdonen B har.

5.4 Visuell spridningsbild

Spridningsbilden varierar beroende på undertemperatur, flöde och dontyp. Vid undertemperaturen 6 °C på tillförd luft blir spridningsbildens diameter snävare jämfört med undertemperaturen 3 °C på tillförd luft vid samma flöde. Detta på grund av att den tillförda luften med undertemperaturen 6 °C faller mot golvet i högre hastighet än i fallet med undertemperaturen 3 °C på tillförd luft vid samma flöde. Det är på grund av att luftens densitet i luftstrålen har en högre densitet i fallet för undertemperaturen 6 °C relativt fallet för undertemperaturen 3 °C. Detta enligt resultatet i kapitel 4.5 Fallhastighet.

Under förutsättningen att flödesvolymen av undertempererad tillförd luft är konstant innebär det att luftstrålen får en förändrad spridningsbild för att kompensera för den förändrade lufthastigheten. Luftstrålen får därför en snävare spridningsbild med högre fallhastighet med undertemperaturen 6 °C på tillförd luft kontra den luftstrålen med undertemperaturen 3 °C på tillförd luft.

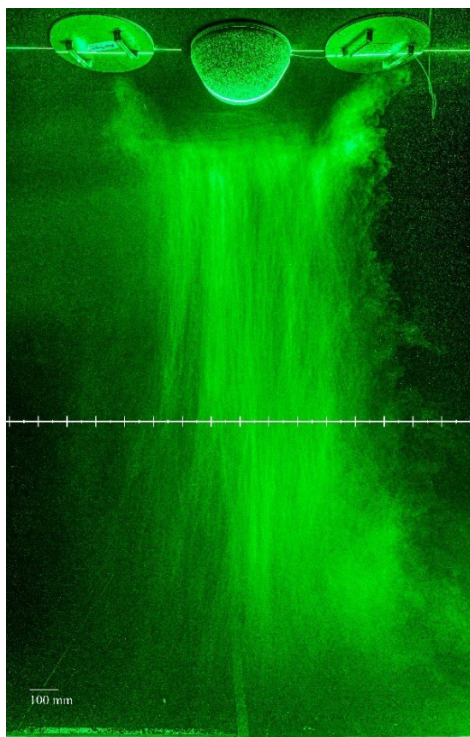
Vid undertemperaturen 3 °C på tillförd luft blir spridningsbildens diameter bredare jämfört med undertemperaturen 6 °C på tillförd luft vid samma flöde. Detta på grund av att den tillförda luften med undertemperaturen 3 °C faller mot golvet med lägre hastighet än i fallet med undertemperaturen 6 °C på tillförd luft vid samma flöde. Det är på grund av att luftens densitet i luftstrålen har en lägre densitet i fallet för undertemperaturen 6 °C relativt fallet för undertemperaturen 3 °C. Detta enligt resultatet i kapitel 4.5 Fallhastighet.

Under förutsättningen att flödesvolymen av undertempererad tillförd luft är konstant innebär det att luftstrålen får en förändrad spridningsbild för att kompensera för den förändrade lufthastigheten. Luftstrålen får därför en bredare spridningsbild med lägre fallhastighet med undertemperaturen 3 °C på tillförd luft jämfört med luftstrålen med undertemperaturen 6 °C på tillförd luft.

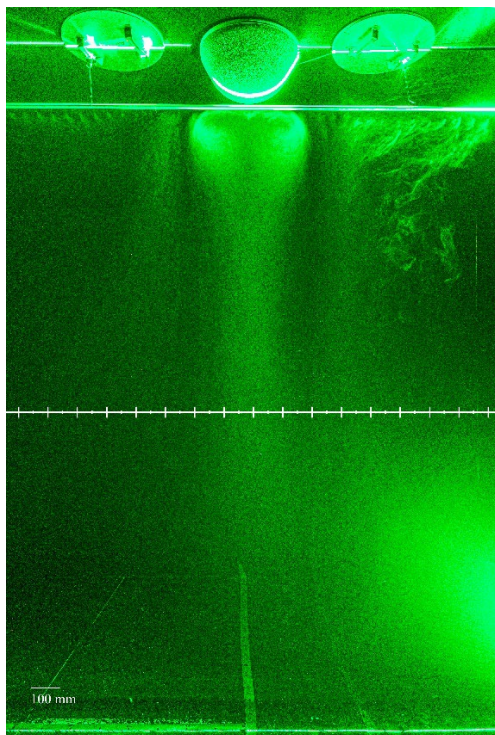
Samtliga tolkningar av gränsdragningen för den undertempererade tilluftstrålen och omgivande luft var abstrakt. Oberoende av om uppmätningen av gränsen uppmättes på för hand med måttstock eller genom analys av bilderna fanns svårigheter i att tolka vart den faktiska gränsen var. Denna gräns var diffus och beroende på hur man tolkade luftrörelserna erhöles olika mätvärden. För att inte göra någon skillnad på mätserierna så gjordes den abstrakta tolkningen om gränsdragningen på samma vis genom alla mätningar.

En jämförelse mellan två prototyper med avseende på spridningsbild och tryckfall

Mätserie 1 skiljde sig från mätserie 2 och 3 på så vis att olika maskiner och metoder användes för att introducera rök i tilluftsstrålen. Metoden med rökgeneratoren som användes i mätserie 1 gav tydligare konturer av luften, men på grund av att sättet man introducerade röken på skapade viss störning av tilluftsstrålen och gränsen fluktuerade mer. För illustration av denna metod, se Figur 32. Detta i jämförelse med metoden med partikelgeneratoren som användes för mätserie 2 och 3 där röken inte introducerades för hand utan genom en fast installation. För illustration av denna metod, se Figur 33. Denna metod gav inte lika tydliga konturer av röken men gränsen mellan den undertempererade tilluften och omgivande luft fluktuerade mindre. Det var på så vis lättare att erhålla högre mätnoggrannhet i metoden för mätserie 2 och 3 men lämnade större utrymme för misstolkning av gränsen på grund av svagare konturer.



Figur 32, exempelbild på röken som introducerades manuellt, metoden som användes för mätserie 1.



Figur 33, exempelbild på röken som introducerades med fast installation, metoden som användes för mätserie 2 och 3.

5.5 Fallhastighet

Baserat på kapitel 4.5 Fallhastighet tenderar fallhastigheten av den undertempererade tillförda luften att variera beroende av undertemperatur och oberoende av flöde. Detta innebär att spridningsbilden kommer att variera för att kompensera för den förändrade flödesmängden. Spridningsbilden blir bredare vid undertemperaturen 3 °C och snävare vid undertemperaturen 6 °C. Resonemanget baseras på resultatet i kapitel 4.4 Spridningsbild.

Resultaten pekar inte på att det skulle vara någon större skillnad i fallhastigheten på den undertempererade tilluften beroende av dontyp. De skillnader beroende av don som kan avläsas är att donet B1 tenderar till att i genomsnitt resultera i högre fallhastighet än A1 oberoende av undertemperatur och flöde. Det kan dras en parallell till resultatet i kapitel 4.4 Spridningsbild där resultaten visar en trend till att dontyp B skulle ha något snävare spridningsbild i jämförelse med dontyp A under samma förhållanden. Detta bör rimligtvis leda till att dontyp B resulterar i högre fallhastigheter av den undertempererade tilluften kontra dontyp A under samma förhållanden på grund av hur spridningsbilden förändras.

Resultatet baseras endast på två olika dontyper. Detta resultat hade kunnat se annorlunda ut om ett större urval av respektive dontyp hade testats av anledningen att skillnaderna

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

är så små att det inte går att dra några säkra slutsatser. Om skillnaderna beror av andra faktorer än donen som till exempel mätosäkerhet eller mänsklig faktor går inte att säga.

Under mättillfället upptäcktes ett starkt avvikande mätvärde liknande den tredje gula punkten från vänster tillhörande B1 vid undertemperaturen 6 °C och flödet 100 l/s i Tabell 15. Då detta upptäcktes under mätningen gjordes denna mätning om och resultatet blev ett mer väntat värde i linje med övriga mätningar. Det starkt avvikande mätvärdet presenterat i Figur 31 upptäcktes inte vid mättillfället. Av anledning att ett liknande mätvärde uppmättes och mättes om som resulterade i ett mer väntat värde kan denna punkt betraktas som mätfel. Orsaken till mätfelet är okänd.

En anledning till mätfelet kan vara att loggaren sattes igång för tätt inpå att instrumenten och donen riggats för det specifika testet och att lufrörelserna inte hunnit neutraliserats och därav loggat ett avvikande medelvärde på fallhastigheten. Detta är spekulativt men en rimlig orsak då varmtrådsgivaren som användes för att mäta lufthastigheten är mycket känslig.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

6 Slutsatser

På grund av de abstrakta gränsdragningarna i ventilationszonen var gränsen svår att tolka och ingen entydig slutsats kunnat dras från den visuella spridningsbilden. Dessutom ger kärnlinjemätningen ett motsatt resultat än vad som den visuella spridningsbilden visade vilket gör återigen det svårt att dra en entydig slutsats. Kastlängsmätningen visade inte heller på någon tydlig trend för prototypdon A eller B. Lika så i fallhastighetsmätningen där den uppvisade skillnaden ansågs också att ha för låg signifikans för att uppvisa någon skillnad mellan prototypdonen. Den enda mätningen där det uppvisar en tydlig trend är tryckfallsmätningen där prototypdon B har lägre tryckfall vid samma tilluftsflöde jämfört med prototypdon A.

Slutsatsen är att spridningsbilden mellan donen inte har uppvisat någon signifikant skillnad och prototypdonen har därmed lika stor spridningsbild. Skillnaden som har uppvisats är att prototypdon B har ett lägre tryckfall än vad prototypdon A har vid samma tilluftsflöde.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

Referenser

AirSon, u.d. *Airson Airshower*. [Online]

Available at: <https://www.airson.se/sv/tjanster/kontrollerad-miljoe/airson-airshower/>
[Använd 3 Juni 2024].

Alsved, M. o.a., 2018. Temperature-controlled airflow ventilation in operating rooms compared with laminar airflow and turbulent mixed airflow. *Journal of Hospital Infection*, 98(2), pp. 181-190.

Andersson, M., 2020. *Energimyndigheten*. [Online]

Available at: <https://www.energimyndigheten.se/arkiv-for-resultat/Resultat/energieffektiv-ventilation-for-sjukhus/>
[Använd 9 Februari 2024].

Eriksson, G., 2007. *GRUNDLÄGGANDE STRÖMNINGSLÄRA*, Göteborg: Chalmers tekniska högskola.

Europaparlamentet, u.d. *Europaparlamentet*. [Online]

Available at:
<https://www.europarl.europa.eu/news/sv/headlines/society/20221128STO58002/energi-besparing-eu-s-atgarder-for-att-minska-energiforbrukningen>
[Använd 9 Februari 2024].

Johansson, F., 2023. *Sveriges kommuner och regioner*. [Online]

Available at:
<https://skr.se/skr/samhallsplaneringinfrastruktur/fastigheter/lokalresursplanering/strategisklokalresursplanering.13009.html>
[Använd 9 Februari 2024].

Jönsson, G., 2016. *Fysik i vätskor och gaser*. Nionde upplaga första tryckningen red. Lund: Tech Support.

Lindab, 2021. *Lindab*. [Online]

Available at:
https://www.lindab.se/globalassets/commerce/lindabwebproductsdoc/pdf/documentation/comfort/se/technical/theory_air_ej96l.pdf?v=1651730154
[Använd 12 Februari 2024].

Lundstedt, K. & Ederberg, I., 2021. *Smittspridning i ventilerad inomhusmiljö - En studie om korrelation mellan partikelmängd och risken att bli smittad av Covid-19 via aerosoler*, Lund: u.n.

Löndahl, J. o.a., 2017. *Energieffektiv ventilation för sjukhus och renrumsmiljöer inom industrin*, Stockholm: Energimyndigheten.

En jämförelse mellan två prototypdon med avseende på spridningsbild och tryckfall

Sandell, J., 2017. *Utvärdering av avklingnings- och homogenspridningsmetoden Vid jämförelse mellan deplacerande, omblandande och utjämnande ventilation*, Lund: u.n.

Svensson, A., 1974. *Gemensamma Nordiska metoder för mätning av luftflöden i ventilationsanläggningar*, u.o.: Byggforskningen.

Swegon, u.d. *Omblandande ventilation*. [Online]
Available at: https://www.swegon.com/sv/kunskapsportal/manniskan-och-rummet/inomhusklimat/viktiga-principer-for-inomhusklimat/Att_tillfora_luft/omblandande-ventilation/
[Använd 3 Juni 2024].

Wang, C., 2019. *Ventilation Performance in Operating Rooms: a Numerical Assessment*, Stockholm: KTH.

Warfvinge, C. & Dahlblom, M., 2020. *Projektering av VVS-installationer*. 1:17 red. Lund: Studentlitteratur.