

NOVEMBER 2017

REGION SYDDANMARK, REGIONAL UDVIKLING, MILJØ OG RÅSTOFFER

OBDUKTIONSPROJEKTET, ØRSTEDSGADE 26, 5900 RUDKØBING

RAPPORT - UDVIKLINGSPROJEKT - FLOW-DYNAMIK I FALDSTAMMER



COWI

NOVEMBER 2017
REGION SYDDANMARK, REGIONAL UDVIKLING, MILJØ OG RÅSTOFFER

OBDUKTIONSPROJEKTET, ØRSTEDSGADE 26, 5900 RUDKØBING

RAPPORT – UDVIKLINGSPROJEKT – FLOW-DYNAMIK I FALDSTAMMER

PROJEKTNR. DOKUMENTNR.
A093365 A093365-003

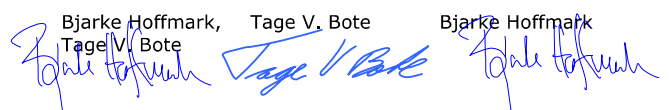
VERSION UDGIVELSESDATO BESKRIVELSE
1.0 24. april 2018 Rapport

UDARBEJDET KONTROLLERET GODKENDT

Bjarke Hoffmark,
Tage V. Bote

Tage V. Bote

Bjarke Hoffmark



INDHOLD

1	Indledning	5
1.1	Baggrund og formål	5
1.2	Problemstilling og projektidé	6
2	Sammenfatning og konklusion	9
3	Projekt A1 – Flowdynamik i faldstammer	14
3.1	Udfordring/formål	14
3.2	Indledning klarlægning af afløbsforløb	14
3.3	Gennemførte undersøgelser	16
3.4	Resultater	19
3.5	Del konklusioner projekt A1	24
4	Projekt A2 – forureningskoncentrationer bag vandlåse og i faldstammer	36
4.1	Udfordring/formål	36
4.2	Gennemførte undersøgelser	36
4.3	Resultater	38
4.4	Del konklusion projekt A2	40
5	Projekt A4 – alternativ ventilation af afløbssystem	47
5.1	Udfordring/formål	47
5.2	Gennemførte undersøgelser	48
5.3	Resultater	50
5.4	Del konklusioner projekt A4	54
6	Referencer	56

BILAG

Bilag A Situationsplan

Bilag B Opstalt, faldstamme A1/A6 og A5

Bilag C Opstalt, faldstamme A7

1 Indledning

1.1 Baggrund og formål

Region Syddanmark har inviteret COWI til at gennemføre idéforslag med formål at opnå ny viden eller udfylde videnshuller i forbindelse med indeluftsager i undersøgelses- og afværgeregion. På baggrund af Region Syddanmarks opkøb af ejendommen Ørstedsgade 26, 5900 Rudkøbing, med henblik på nedrivning af denne, er der nu mulighed for at gennemføre tiltag hvor der ikke skal foretages retablering og hvor evt. grundejere i denne forbindelse ikke udsættes for unødigt belastning.

I 2014 har Region Syddanmark iværksat afværgetiltag til at mindske/eliminere forureningsbidraget fra kloakken på Ørstedsgade 26, 5900 Rudkøbing, til indeluften i ejendommen. Der er etableret udluftning på tre faldstammer og luftindtag i en samlebrønd til ejendommen. COWI har af det udarbejdede materiale for lokaliteten ikke kunne se, at der er foretaget dokumentation for de gennemførte foranstaltningers effekt.

I flere sager har man etableret lignende tiltag for at reducere bidraget via afløbssystemet, men COWI bekendt, er der kun ringe dokumentation for effekten af afværgeforanstaltning, og hvilke mekanismer der udløser effekten. Er der tale om en fortyndingseffekt, som følge af luftflow gennem afløbssystemet, eller er der tale om formindsket udsivning, som følge af reduceret trykdifferens mellem faldstammen og indeluften?

Formål

Med andre ord, hvad er det for en dynamik der bevirker at der sker spredning fra faldstammer og vandløse til indeluften, og hvilken effekt har det at udlufte faldstammen - dette ønskes undersøgt ved nærværende udviklingsprojekt.

Der er gennemført 3 delprojekter som alle er relaterede til flowdynamik og effekter afledt af udluftning og ventilering af et afløbssystem. Projekterne er sammenfattet i kapitel 2 og er behandlet enkeltvis i kapitlerne 3-5.

1.2 Problemstilling og projektidé

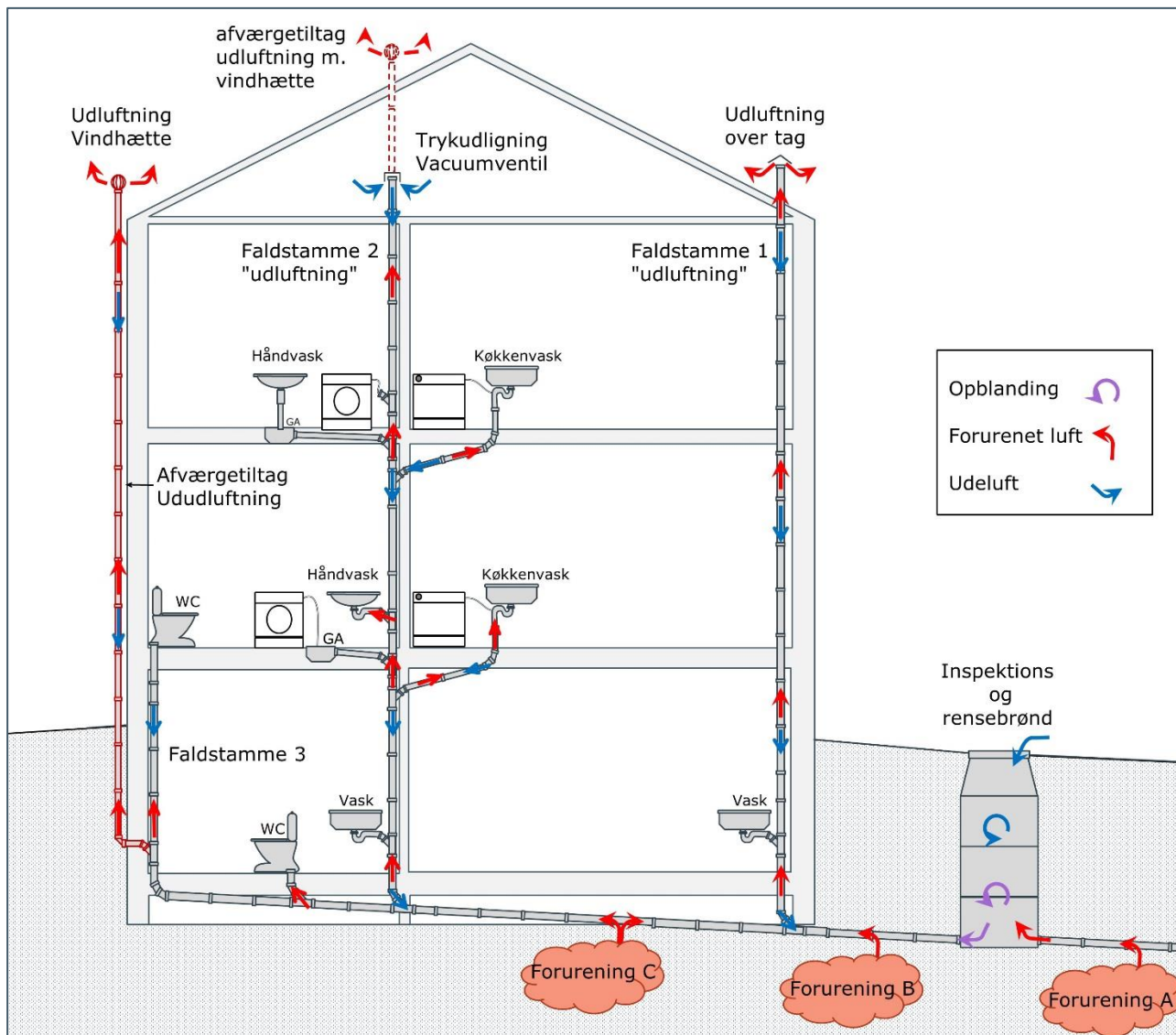
Ud fra et jordforureningssynspunkt taler vi oftest om udluftning som en fortyndende faktor, der skal reducere forureningskoncentrationerne i faldstammen. Ud fra et afløbsteknisk synspunkt, anvendes udluftning af faldstammerne for at trykudligne og ikke for at give luftflow. Udluftning af faldstammen anvendes hvis man har tilslutninger af afløb på flere etager. Specielt ved toiletter på flere etager er udluftning vigtigt, da aftrækket fra toilettet giver store trykdifferenser i faldstammen, som kan tømme lavere liggende vandlåse som derved kan give mulighed for forureningsspredning.

Der er udført flere projekter der ser på spredning via kloakker, inkl. et udviklingsprojekt som COWI i 2016-17 har udført for Region Syddanmark /1/. Mange af projekterne åbner dog flere spørgsmål end de besvarer. Der er derfor en række uafklarede områder, hvor nogle simple undersøgelser vil kunne hjælpe os til at komme tættere på en afklaring af de mekanismer og forhold, som er styrende for indtrængning til kloakken, spredning i kloakken og udsivning fra kloak/faldstammer til indeluft. Nogle af de uafklarede spørgsmål er f.eks.

- 1 Hvilken betydning har placeringen af udluftningen af faldstammen f.eks. i toppen (som udluftning A6 på Ørstedsgade 26), midt på faldstammen (som A5 og A7) eller i bunden?
 - 1.1 Betydning i forhold til luftflow i kloak/faldstamme og dermed også forureningskoncentrationerne?
 - 1.2 Betydning i forhold til forureningskoncentrationer i den afsnørede del af faldstammen (mellem vandlåsen og den udluftede del)?
 - 1.3 Betydning i forhold til trykdifferens når faldstammen benyttes?
- 2 Hvilket luftskifte/luftflow giver det at udlufte en faldstamme?

Det luftflow en udluftning giver, vil naturligvis afhænge af det konkrete system (udformning af faldstammer og udluftning). Ved de tre udluftede faldstammer på Ørstedgade 26, er der mulighed for at sammenligne flere forhold.

- 3 Hvilken effekt har udluftningen for forureningskoncentrationen i faldstammen og bag vandlåsen? Idéen med udluftningen af faldstammen er, at der skal ske en fortynding af forureningen, og at man derved reducerer de koncentrationer der forekommer i faldstammen. Jf. udviklingsprojektet /1/, hvor der er anvendt sporgasser (PFT), ses ikke nogen entydig dokumentation for at koncentrationerne er reducerede.



Figur 1-1. Konceptuel beskrivelse af luftflow i afløbssystemet afhængigt af om det udluftes i bunden eller i toppen af faldstammen. Desuden illustreres hvilken betydning det har om forureningen siver ind i kloakken før brønden (A), mellem bygningen og brønden (B) eller under bygningen (C).

I Figur 1-1 er vist en konceptuel model af luftflow i afløbssystemet i forhold til en beboelsesbygning. I figuren er forsøgt illustreret betydningen af, hvor forureningen trænger ind i kloakken, og at dette har betydning for hvordan afværgeforanstaltningerne udformes bedst. Bygningen på figuren har tre faldstammer. Faldstamme 1 anvendes til trykudligning og ventilation af kloakken og evt. hovedkloak. Det er ikke alle bygninger der har denne type af udluftning /2/. Hvis forureningen er beliggende ved (A) eller ved (B) vil denne placering af en udluftning kunne mindske forureningsspredning til den øvrige del af bygningens afløbssystem. Faldstamme 2 er trykudlignet med en vakuumventil. Vakuumventiler finder større og større anvendelse i Danmark og som anført i /1/ frarådes vakuumventiler i sager hvor afløbssystemet kan være spredningsvej for forureningen. Faldstamme 3 er en ikke trykudlignet faldstamme.

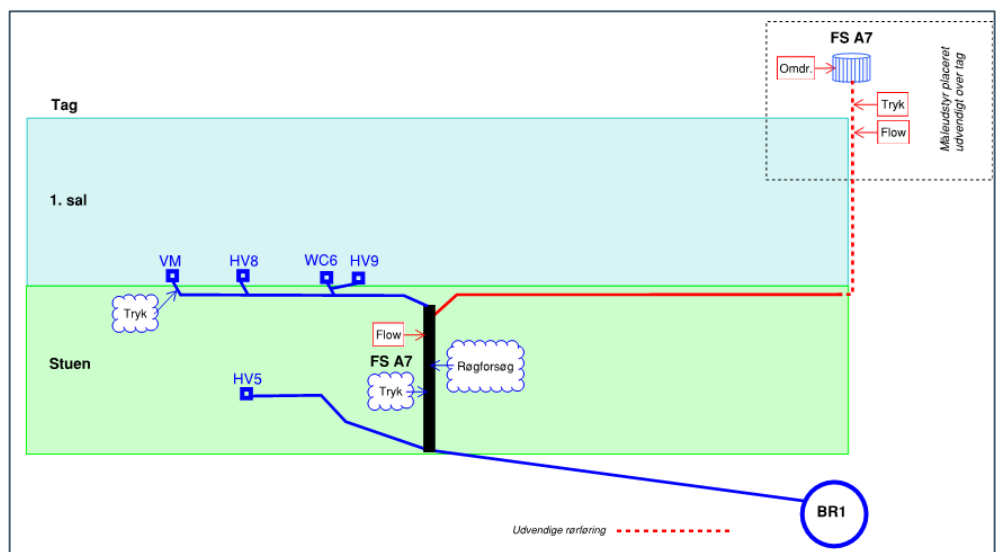
Ved etablering af afværgetiltag på Ørstedsgade 26, er alle faldstammer ført til luftafkast med vindhætte. Dette er illustreret ved indtegning af afværgetiltag på faldstamme 2, hvor faldstammen bliver udluftet i toppen og ført op igennem loft og tagkonstruktion i lighed med faldstamme FS6 (se opstalt i Bilag B). På faldstamme 3, er der indtegnet afværgetiltag, hvor udluftningen etableres i bunden, i midten eller i toppen af faldstammen og herefter ført ud af bygningen og op langs facaden til over tag, i lighed med faldstammerne FS1, FS5 og FS7 (se opstalt i Bilag B og Bilag C). For nærmere beskrivelse af udluftningen af faldstammerne se kapitel 3.2.

2 Sammenfatning og konklusion

Projektet tager afsæt i at undersøge effekten af tidligere gennemførte afværgetiltag etableret i forbindelse med afløbssystemet på Ørstedsgade 26, Rudkøbing. Gennemførelsen af projektet har givet anledning til en lang række data omhandlende flowdynamik i relation til hhv. udluftede og ikke udluftede faldstammer og betydningen i forhold til potentiel spredningsvej for flygtig forurening spredt via afløbsinstallationen til indeluften. Forsøgsundersøgelserne er gennemført på Region Syddanmarks testgrund Ørstedsgade 26, Rudkøbing, som en del af det samlede gennemførte 'Obduktionsprojektet' i perioden maj-juli 2017. Forsøgene har været målrettet mod at forbedre grundlaget for at vurdere flow dynamikken i afløbssystemer, både for den konkrete lokalitet, men også generelt for lokaliteter hvor afløbssystemet kan være spredningsvej for forurening til indeluften.

Den fysiske udformning af afløbssystemet

Undersøgelserne på Ørstedgade 26 har med alt tydelighed vist, at det er afgørende betydning, at få skabt sig information om den fysiske udformning af afløbssystemet, herunder at få visualiseret denne information på en sådan måde, at den kan anvendes løbende gennem projektet. Det er her vigtigt at huske på at "djævlén ligger i detaljen".



Figur 2-1 Eksempel på illustration af del af afløbssystemet.

COWI har i forbindelse med nærværende projekt opstillet konceptuelle opstalter, som har givet mulighed for både at have det store overblik over afløbssystemet men også samtidigt at kunne medtage vigtige detaljer som f.eks. indbyrdes placering af de forskellige enheder. Ud over selve illustrationen af afløbssystemet, som der er givet et eksempel på i Figur 2-1, så er det tilsvarende en vigtig del af konceptet, at have en konsekvent og simpel navngivning af alle enheder, således at der efterfølgende kan refereres entydigt til disse.

Kan man dokumentere en effekt af at foretage udluftning af faldstammerne?

I forbindelse med at afløbssystemet kan virke som spredningsvej for forurening til indeluften, har udluftning af afløbssystemet to formål, dels at udligne/mindske trykforskellen mellem indeluften og afløbssystemet, og dermed at reducere den advective transport af luft fra afløbssystemet til indeluften, dels at øge luftgennemstrømningen af luft gennem afløbssystemet og dermed reducere/fortynde forureningskoncentrationerne i afløbssystemet.

I kapitel 3 er beskrevet de undersøgelser, der er udført med henblik på at beskrive trykforhold og flow i afløbssystemet, både i en situation hvor afløbssystemet har været udluftet og i en situation hvor udluftningen af afløbssystemet har været afblændet. I kapitel 4 er beskrevet forsøg og målinger af forureningskoncentrationerne i faldstammerne under de to situationer.

Resultaterne har ikke dokumenteret afgørende betydende konsekvenser af, om der er foretaget udluftning af faldstammerne eller ej.

Flow og koncentrationer Som forventet har målingerne vist, at der er stor forskel på flowet i faldstammen for en ventileret faldstamme og for en faldstamme der ikke er ventileret. Koncentrationerne af forurening i faldstammen viser dog ikke samme tydelige tendens, og i mange af målepunkterne indikerer målingerne, at der er højere koncentrationer i en ventileret faldstamme. Dette kan forklares med, at forureningsspredningen i en ikke ventileret faldstamme sker langsommere og mere diffust, mens der er en væsentlig større og hurtigere forureningsspredning når faldstammen er ventileret, specielt hvis hovedparten af det øgede luftskifte i faldstammen skyldes, at der tilføjes forurenede luft fra kloakken, og ikke at der tilføres ren atmosfærisk luft.

Trykdifferensen De udførte målinger af trykdifferensen har ikke på samme måde som flowmålingerne givet entydige målinger. For mange målepunkter ses der forskel på trykforholdene når faldstammen er ventileret og når den er afblændet. Det er dog straks væsentligt svære at tolke betydningen af forskellene.

Ændringerne i trykforholdene sker i forhold til forskellige tidsakser, dels er der nogle kraftige men meget hurtige trykændringer (få sekunder) som f.eks. opstår når faldstammen anvendes, påvirkning fra vindstød, eller hurtige trykændringer i indeluften (f.eks. døre og vinduer der åbnes og lukkes) dels er der mere langsomme ændringer på grund af temperaturpåvirkninger og ventilation af bygningen o.l. Det vides ikke, hvor stor betydning de forskellige typer af trykændringer har for spredning af forureningen - hvilken betydning har hurtige kraftige trykændringer i forhold til langsomme men små ændringer? Ved udformningen af

måleprogrammet har det derfor været ønsket at kunne belyse begge typer af ændringer, men for at reducere datamængden har det været nødvendigt at gå på kompromis med hyppigheden hvormed data opsamles. I måleprogrammet er det valgt at midle målingerne over en 10 minutters periode, hvilket har bevirket, at de hurtige kraftige trykændringer ikke har kunnet registreres i det omfang det var ønskeligt.

Placering af udluftningen

Oprindeligt var det ønsket at projektet skulle kunne belyse, om der er forskel på om en faldstamme er udluftet i toppen, midt på eller i bunden. Ved de udførte undersøgelser har det ikke været muligt at dokumentere, om placeringen af udluftningen har afgørende betydning for effekten af tiltaget.

Hvilket luftskifte/luftflow giver det at udlufte en faldstamme?

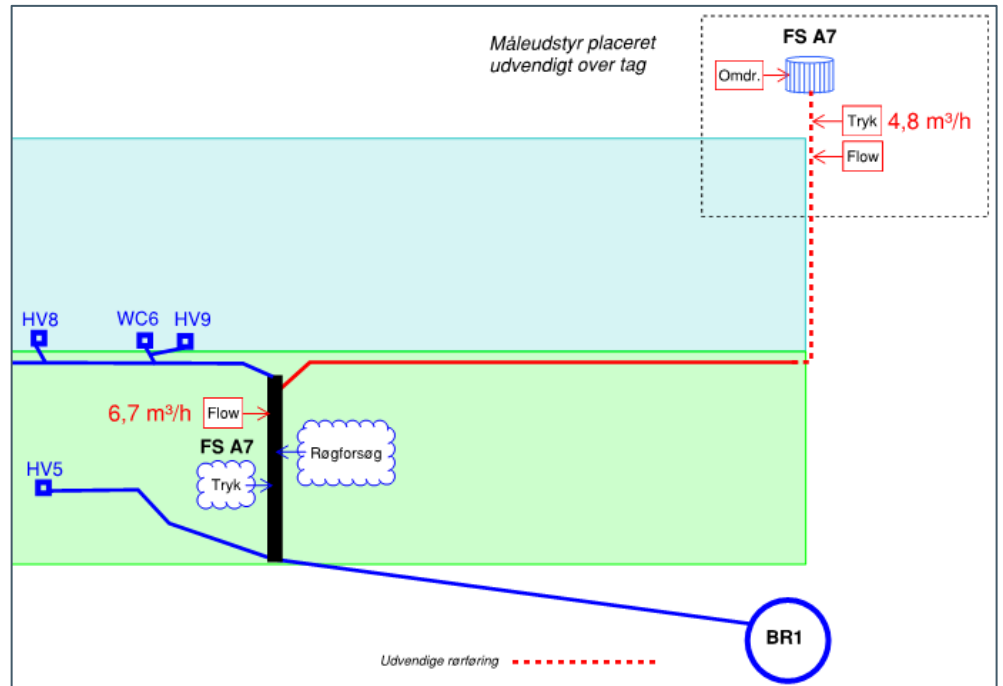
Det luftflow en udluftning giver, vil naturligvis afhænge af det konkrete system (udformning af faldstammer og udluftning). Ved de tre udluftede faldstammer på Ørstedgade 26 har der været mulighed for, at foretage målinger dels ved luftafkastet, dels midt på faldstammen. Målingerne har vist, at der ved luftafkastene er et gennemsnitligt flow over hele måleperioden på mellem 2,5 m³/t og 10,5 m³/t og at luft flowene er tydeligt afhængige af vindhastighederne. Jo kraftigere vind, jo større luftflow.

Tryk og flow

Målingerne af trykdifferens og luftflow ved faldstammernes luftafkast, har vist, at de faldstammer hvor der måles det største luftflow tilsvarende er de faldstammer hvor der måles den laveste trykdifferens. Populært sagt kan det udtrykkes, at i nogle faldstammer anvendes energien på at skabe undertryk, og i andre til at skabe luftflow. Dette hænger sammen med udformningen af de forskellige faldstammer, i nogle er der et større trykfald end i andre, som vil give anledning til en større trykdifferens og et mindre luftflow.

Højere flow midt på faldstammen

For alle faldstammerne er der målt et større luftflow midt på faldstammen end ved luftafkastet, som det eksempelvis er illustreret i Figur 2-2. Midt på faldstammen er der målt næsten 50% højere luftflow end ved luftafkastet. Dette kan skyldes at flowmålerne ikke er retningsbestemt. I perioder med meget lille vindpåvirkning vil luften i faldstammen være meget stillestående. Midt i faldstammen vil der være luft som på grund af f.eks. temperaturpåvirkninger, cirkulerer op og ned i røret og derfor giver højere luftflow midt i faldstammen end ved luftafkastet.



Figur 2-2 Gennemsnitlige flow i de to målepunkter på faldstammen FS A7.

Er målinger af luftkoncentrationen bag en vandlås repræsentative for koncentrationen i faldstammen?

Flere undersøgelser erfaringer med bl.a. PFT-sporgasser har vist, at luften ikke bare bevæger sig fra faldstammen til indeluften, men også den modsatte vej. I forbindelse med nærværende undersøgelse, er det derfor undersøgt om indtrængning af indeluft til faldstammen giver anledning til lavere koncentrationer i luften umiddelbart bag vandlåsen. Dette er gjort ved at sammenligne koncentrationerne i luften bag vandlåsen, før og efter at der er foretaget gennemskylning af installationen.

Undersøgelsen viser, at der i nogle tilfælde er store koncentrationsforskelle idet koncentrationen bliver halveret. I andre tilfælde er koncentrationen stort set det samme før og efter gennemskylningen. Undersøgelsen har derfor ikke givet noget entydigt resultat.

Alternativt afværgetiltag for afløbssystemet som spredningsvej

I forureningssager hvor afløbssystemet til en bygning giver anledning til overskridelse af afdampningskriterierne i indeluften, er formålet med etableringen af udluftninger på f.eks. faldstammer, at initiere forureningens transport hele vejen gennem afløbssystemet, uden at forureningen undervejs slipper ud igennem de indvendige afløbsinstallationer og videre til indeluften. Det er en udfordrende disciplin, at sikre et i forureningssammenhæng tilstrækkelig tæt indvendigt afløbssystem, herunder funktionsdygtige vandlåse mm. Som et alternativ er det forsøgt at holde den mulige transport af forurening i skak, inden at forureningen når til og evt. transporteres igennem det indvendige afløbssystem. Det er således forsøgt at etablere en ventilering af en samlebrønd på lokaliteten, for derpå at bortventilere forureningen, inden den når til den indvendige side af afløbssystemet i ejendommen. For at konceptet kan bringe værdi, er det afgørende at

der ikke tilsvarende sker forureningsspredning via øvrige interne bygningsdele, f.eks. via terrændæk. Tiltaget kan således anvendes som supplement til afværger hvor øvrige spredningsveje er håndteret, eller på sagstyper hvor det er dokumenteret, at det alene er spredning via afløbssystemet der giver anledning til overskridelse af afdampningsbidraget i indeluften.

Konkret på lokaliteten, er der konstateret øgede forureningskoncentrationer i den undersøgte faldstamme, mens den alternative ventilering af samlebrønden blev gennemført. Dette vurderes at skyldes, at der på lokaliteten tilsvarende sker et kraftigt forureningsbidrag via terrændækket, som i kombination med utætheder i det indvendige afløbssystem, giver anledning til at der trækkes forureningspåvirket indeluft ind i faldstammen, hvorfor der ses øgede forureningskoncentrationer indvendigt i faldstammen. På en lokalitet hvor indeluften ikke er påvirket via bidrag fra f.eks. terrændæk, vurderes det alternative ventilationskoncept at være en brugbar og enkel løsning, både som permanent afværgetiltag men tilsvarende også som midlertidigt afklarende undersøgelsestiltag – dog med nuanceringsaspektet omkring aktiv ventilation in mente.

3 Projekt A1 – Flowdynamik i faldstammer

3.1 Udfordring/formål

COWI har i /1/ anvendt sporgasser (PFT) til eftervisning, at der kan opnås en forbedring (mindskelse af indsivningen til indeluften), hvis man sikrer at kloakkerne er udluftet med udluftninger over tag. Resultaterne i projektet er dog ikke entydige, og projektet åbner bl.a. spørgsmål omkring hvilken betydning luftstrømme i faldstammer har for foreningsspredning til indeluften.

3.2 Indledning klarlægning af afløbsforløb

Situationsplan med indretning af lokaliteten og vurderet afløbsforløb er vedlagt i Bilag A. Konceptuelle opstalter for faldstammerne, herunder tilsluttede afløbsinstallationer, er vedlagt i Bilag B og Bilag C.

Forud for nærværende projekters gennemførelse, er der i anden forbindelse foretaget en VVS-gennemgang på lokaliteten, hvor bl.a. delvist afmonterede afløbsinstallationer er genetablerede med vandlåse.

Den historiske afløbsfortegnelse for ejendommen, har ikke klarlagt forløbet af tilslutning for afløbet fra håndvask HV3 i stueetagen og til samleledningen ført til samlebrønden BR1 i gården til ejendommen. På Bilag A er ledningsforløbet således angivet som ukendt forløb.

Ved COWIs indledende arbejder på lokaliteten, blev det yderligere fastlagt, at det samlede afløb fra faldstamme A1 er tilsluttet nedstrøms for udløbet af samlebrønd BR1. Det var således ikke muligt at konstatere gennemløb i BR1, når der blev ledt vand til FS A1 via f.eks. WC3 eller HV4. Yderligere blev det fastlagt, at faldstamme A6 er en forlængelse af faldstamme A1 fra hhv. 1. sal til stueetage.

FS A1 / FS A6

Dette betyder, at faldstamme A1/A6 derfor må betragtes som "dobbelt" udluftet forstået på den måde, at der i bunden af FS A1 er etableret udvendig udluftende rørføring afsluttet over tag med vindhætte, samtidig med, at der i forbindelse

med FS A6 på 2. sal, er etableret opføring af udluftende rørføring afsluttet over tag med vindhætte.

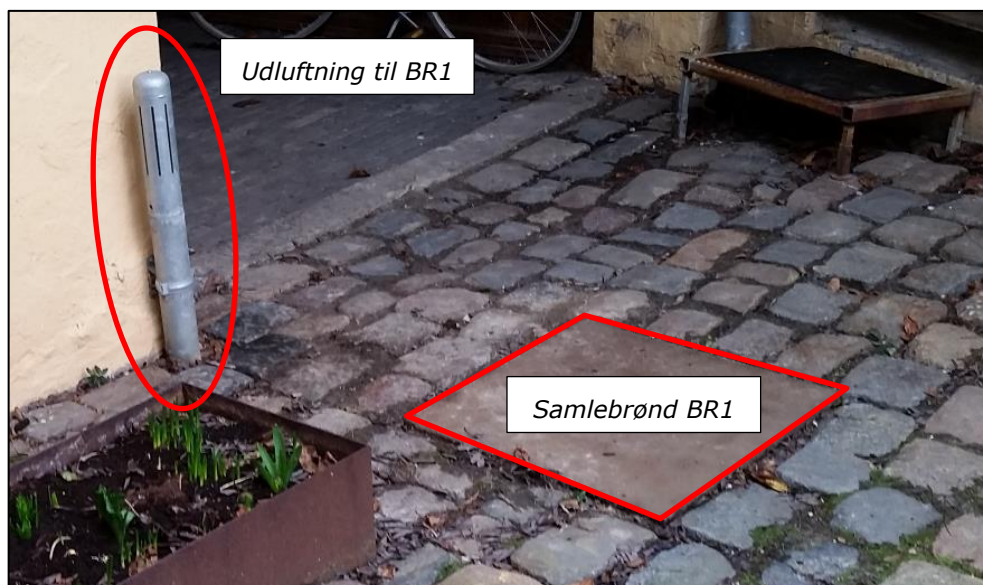
FS A5 og FS A7

De øvrige to faldstammer, hhv. FS A5 og FS A7, er etableret med en afgrening til udluftningen i den øvre del af faldstammen, men ikke helt i enden af faldstammen, som det kan ses i Figur 3-1 for faldstamme FS A7. Rørstrækninger for begge udluftninger, er placeret delvist indvendigt i bygningerne og delvist udvendigt. Begge udluftninger er afsluttet med vindhætter over tag.



Figur 3-1. Billede af rørføringen ved udluftningen af faldstamme FS A7. Som det kan ses på figuren, fortsætter faldstammen efter afgreningen til luftafkastet. Bagerst ses udluftning til et afværgedræn under gulv. Denne rørføring indgår ikke i nærværende projekt.

I forbindelse med de tidligere gennemførte afværgetiltag på lokaliteten, er der tilsvarende foretaget udluftning af samlebrønd BR1. Udluftningen er foretaget ved at etablere og forbinde et ca. 1 meter højt placeret slidset luftindtag til brønden. Billede heraf fremgår nedenfor af Figur 3-2.



Figur 3-2. Udluftning af samlebrønd BR1.

3.3 Gennemførte undersøgelser

3.3.1 Flow- og trykdifferenslog

For at undersøge flowdynamikken i de respektive faldstammer, er der foretaget målinger af luftflow og differenstrykmålinger i de fire udluftede faldstammeforløb på lokaliteten. Tilsvarende er der foretaget målinger af omdrejninger på de respektive vindhætter monteret på udluftningerne til hhv. faldstamme A1, A5, A6 og A7. På lokaliteten er der opsat en lokal vejstation, hvorfra vejrdata er logget. Fra alle målepunkter er der foretaget kontinuert logging af data.

Placeringer af de respektive målepunkter fremgår af konceptuelle opstalter for faldstammerne, som er vedlagt i hhv. Bilag B og Bilag C.

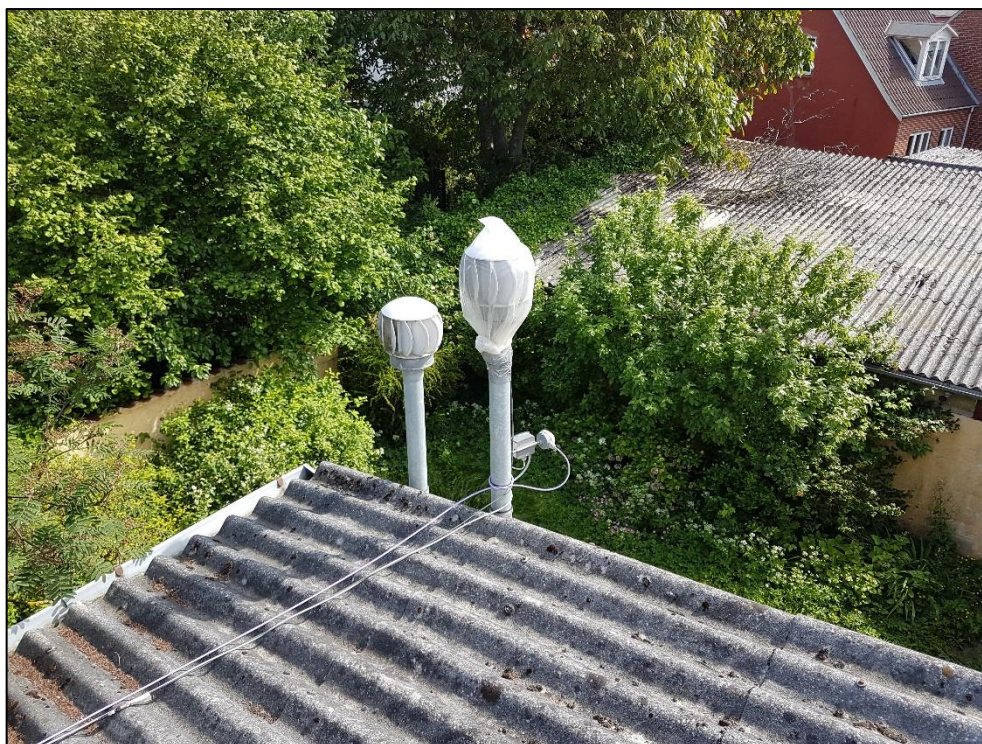
Målepunkter der på figurerne i bilagene er markeret med rød firkant, er målinger der er udført med måleudstyr fra Belvent. Belvents udstyr logger målingerne som et gennemsnit over den foregående tidsperiode på 5 eller 10 minutter med følgende målesikkerhed:

- > Omdrejninger på vindhætter hvert 5. min. $\pm 0,1$ rpm (antal omdrejninger per minut)
- > Trykdifferens $\pm 0,1$ Pa
- > Flowmålinger hvert 10. min. $\pm 0,1$ m³/h, svarende til $\pm 0,0035$ m/s i et \varnothing 100 mm rør. Det bemærkes, at der i forbindelse med til førelsen af vand til faldstammerne ("Træk-og-slip-test" jf. 3.3.2), sker et udfald i data, da flowmålerne bliver slået ud af kurs ved det forbigående vand. Efter en kort periode, alt efter vandmængden, er flowmåleren igen oppe at køre ved normaldrift. Hændelserne kan umiddelbart ikke ses af graferne, formentlig da følsomheden er udjævnet grundet midlet data over tidsperioden på 10 minutter.

Differenstrykmålerens placering markeret med "blå skymarkering", er målinger der er udført med håndholdte trykdifferensmålere af typen GMH 3151 fra Greisinger. Målerne er sat til at logge hvert tiende minut. For dette tidsinterval logges gennemsnitsværdien samt den højeste og den laveste værdi inden for tidsintervallet. Værdierne angives med en målesikkerhed på enten $\pm 0,1$ Pa med en sensor på 2,5 Pa og $\pm 1,0$ Pa med en sensor på 25 Pa.

Både de håndholdte trykdifferensmålere og Belvents udstyr er tilsluttet, så de angiver trykdifferensen mellem trykket i faldstammen og i indeluften/udeluften – alt efter målepunktets placering. Trykdifferensmålingerne er tilsluttet således, at en positiv værdi angiver at der er et højere tryk i luften (ude eller inde) end i faldstammen, mens en negativ værdi angiver at trykket i faldstammen er højere end trykket i luften.

For at kunne sammenligne situationerne for effekten af de udluftende tiltag, er der indledningsvist foretaget logning af måledata i ca. 3 uger – svarende til fase 1. Herefter er der foretaget "afpropning" af afkastene, hvorpå der er foretaget yderligere ca. 3 ugers logning – svarende til fase 2. Afpropningen er foretaget ved simpel tillukning med tætsluttende plasticpose omkring top af udluftningen og vindhætten.



Figur 3-3. Afpropning af faldstamme FS A7 (til højre). Desuden kan ses målepunkt for tryk og flow.

3.3.2 "Træk-og-slip"

Da bygningerne har stået ubeboet hen i forsøgsperioden, og faldstammerne derfor kun i ringe grad har været benyttet, har der været gennemført et "træk-og-slip" program til at simulere brugen af faldstammerne. Programmet er gennem-

ført ved, at afløb (håndvaske, toiletter, gulvafløb, vaskemaskine afløb) er blevet tilført 6-8 liter vand, svarende til gennemskylning af installationen. Oversigt over tidspunkter for "træk-og-slip" program fremgår af Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Oversigt "træk-og-slip" program.

	Dato	Tidsperiode	Bemærkning
Træk/slip 1	23.05.17	Kl. 14:22-15:19	Udluftede faldstammer
Træk/slip felt-GC MS 1	13.06.17	Ca. kl. 16	Udvalgte afløbsinstallationer i forbindelse med felt-GC MS målinger
Træk/slip 2	14.06.17	Kl. 11:22-12:37	Afblænding af udluftede faldstammer
Træk/slip 3	15.06.17	Kl. 15:00-15:15	Afblænding af udluftede faldstammer
Træk/slip felt-GC MS 2	21.06.17	Ca. kl. 16	Udvalgte afløbsinstallationer i forbindelse med felt-GC MS målinger
Træk/slip 4	30.06.17	Kl. 06:46-07:16	Afblænding af udluftede faldstammer

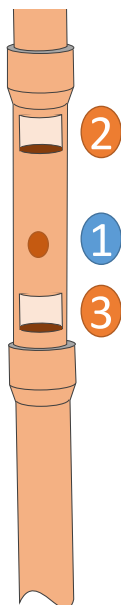
3.3.3 Røgforsøg

Flowmålere kan kun fortælle om lufthastigheden - ikke om retningen. For at bestemme flowretningen i udvalgte faldstammer, er der gennemført en række mindre eksperimenter, hvor der er tilsat røg til faldstammerne. På faldstammerne FS A6 og FS A7, er der etableret tre huller som vist i Figur 3-4. Et Ø13 mm hul (1), hvor det er muligt at tilføre røg til faldstammen via en røgpul og til lukket dæksel, og to stk. Ø60 mm hul henholdsvis over (2) og under (3). Disse huller er tildækket med kraftig gennemsigtig plast. Når røgen tilføres faldstammen via (1), vil man ved at lyse ind gennem hullerne (2) og (3) kunne se om røgen bevæger sig op eller ned i faldstammen eller begge veje. Eksempel på etablerede punkter til røgforsøg for FS A7 fremgår af Figur 3-5.

Røgforsøgene er gennemført som angivet i Tabel 3.2. Der er yderligere foretaget røgforsøg i forbindelse med 'Projekt A4 – alternativ ventilation af afløbssystem' jf. kapitel 5.

Tabel 3.2. Røgforsøg.

	Dato	Bemærkning
Røg 1	22.05.17	Udluftede faldstammer
Røg 2	14.06.17	Afblænding af udluftede faldstammer
Røg 3	30.06.17	Afblænding af udluftede faldstammer



Figur 3-4. Skitse af faldstamme med huller til eftervisning af flowretninger, (1) injektion af rør, (2) og (3) observationshuller.



Figur 3-5. Eftervisning af flowretninger på FS A7.

3.4 Resultater

3.4.1 Flow- og trykdifferenslog med vindhætter "i drift"/udluftet

I det følgende gennemgås resultaterne af flow- og differenstrykmålingerne i perioden hvor luftafkastene var åbne og vindhætterne havde mulighed for at blive påvirket af vejrforholdene.

Flow

I Tabel 3.3 er sammenfattet nøgletallene for flowmålingerne. Generelt ligger værdierne for målinger midt/i bunden af faldstammerne, højere end værdierne der er målt ved toppen af faldstammerne over tag. Dette skyldes formentlig, at flowmålingerne måler luftmolekylernes bevægelse, men ikke deres retning. For målingerne tæt på luftafkastet har luften hovedsageligt en strømningsretning (op/ud af røret), mens der midt på faldstammen i højere grad kan være både opadrettet og nedadrettet luftstrømning, hvilket samlet giver en højere luftstrømning.

Tabel 3.3. Nøgletal for flowmålinger (alle værdier er i m³/h).
De målte værdier er baseret på ca. 3.143 observationer for hvert målepunkt.

Parameter / målepunkt	FS A1 stueetage	FS A1 over tag	FS A5 stueetage	FS A5 over tag	FS A6 1. sal	FS A6 over tag	FS A7 stueetage	FS A7 over tag
Gennemsnit (m ³ /h)	16,2	6,5	3,2	2,7	13,9	10,5	6,7	4,8
Medianværdi (m ³ /h)	14,3	6,2	2,8	2,7	13,3	9,9	4,9	4,2
Minimum (m ³ /h)	1,5	0,3	0,6	0,3	1,4	0,7	1,2	0,7
5% af alle målinger har et flow mindre end	4,3	0,9	1,0	0,5	4,8	3,2	1,3	1,2
95% af alle målinger har et flow mindre end	27,5	14,1	5,9	5,6	25,0	20,0	10,8	10,1
Maksimum (m ³ /h)	323,7	25,9	138,5	18,1	323,7	138,5	323,7	64,5

Omdrejninger

I Tabel 3.4 er sammenfattet nøgletallene for målingerne af omdrejningerne på vindhætterne. Det ses at der er stor forskel på hastighederne vindhætterne imellem, selv ved to vindhætter der er placeret forholds tæt som FS A1 og FS A5.

Tabel 3.4. Nøgletal for måling af omdrejningerne på vindhætten (alle værdier er i rpm, omdrejninger per minut). De målte værdier er baseret på ca. 6.295 observationer for hvert målepunkt.

Parameter / målepunkt	FS A1	FS A5	FS A6	FS A7
Gennemsnit (rpm)	19,0	39,9	4,7	18,7
Medianværdi (rpm)	4,8	15,9	0,0	1,2
Minimum (rpm)	0,0	0,0	0,0	0,0
5% af alle målinger har omdrejninger mindre end	0,0	0,0	0,0	0,0
95% af alle målinger har omdrejninger mindre end	94,5	145	21,6	104
Maksimum (rpm)	342	361	295	293

Differenstryk

I Tabel 3.5 er sammenfattet nøgletallene for differenstrykmålingerne for målepunkterne i toppen af faldstammerne og fra målepunkterne i midten af faldstammen er værdierne sammenstillet i Tabel 3.6. Målingerne der ligger til grund for Tabel 3.6 indeholder udover gennemsnitsværdierne også den højeste og den lavest målte trykdifference. Som det ses af Tabel 3.6 er der i måleperioden forekommet meget voldsomme trykdifferencer på op til 1 til 12 hPa.

Tabel 3.5. Nøgletal for måling af trykdifferencen i målepunkter i toppen af faldstammerne (alle værdier er Pa). De målte værdier er baseret på ca. 3.143 observationer for hvert målepunkt.

Parameter / målepunkt	FS A1 over tag	FS A5 over tag	FS A6 over tag	FS A7 over tag
Gennemsnit (Pa)	-	2,8	2,2	5,1
Medianværdi (Pa)	-	2,0	2,3	4,6
Minimum (Pa)	-	0,5	0,0	0,0
5% af alle målinger har et tryk mindre end	-	1,5	0,6	3,8
95% af alle målinger har et tryk mindre end	-	6,5	2,7	7,6
Maksimum (Pa)	-	23,2	102	24,9

Trykmåleren på FS A1 havde en defekt ved den første del af forsøget, hvorfor der ikke foreligger værdier for dette målepunkt i den del af forsøget, hvor faldstammen er udluftet.

Tabel 3.6. Nøgletal for måling af trykdifferencen i målepunkter i midten af faldstammerne (alle værdier er Pa). De målte værdier er baseret på ca. 3.290 observationer for hvert målepunkt. Hver observation indeholder en gennemsnitsværdi, en minimumsværdi og en maksimumsværdi for et tidsinterval på 10 minutter. Værdierne er baseret på gennemsnitsværdierne. Der er desuden opgivet værdier for den lavest målte minimumsværdi og den højeste målte maksimumsværdi.

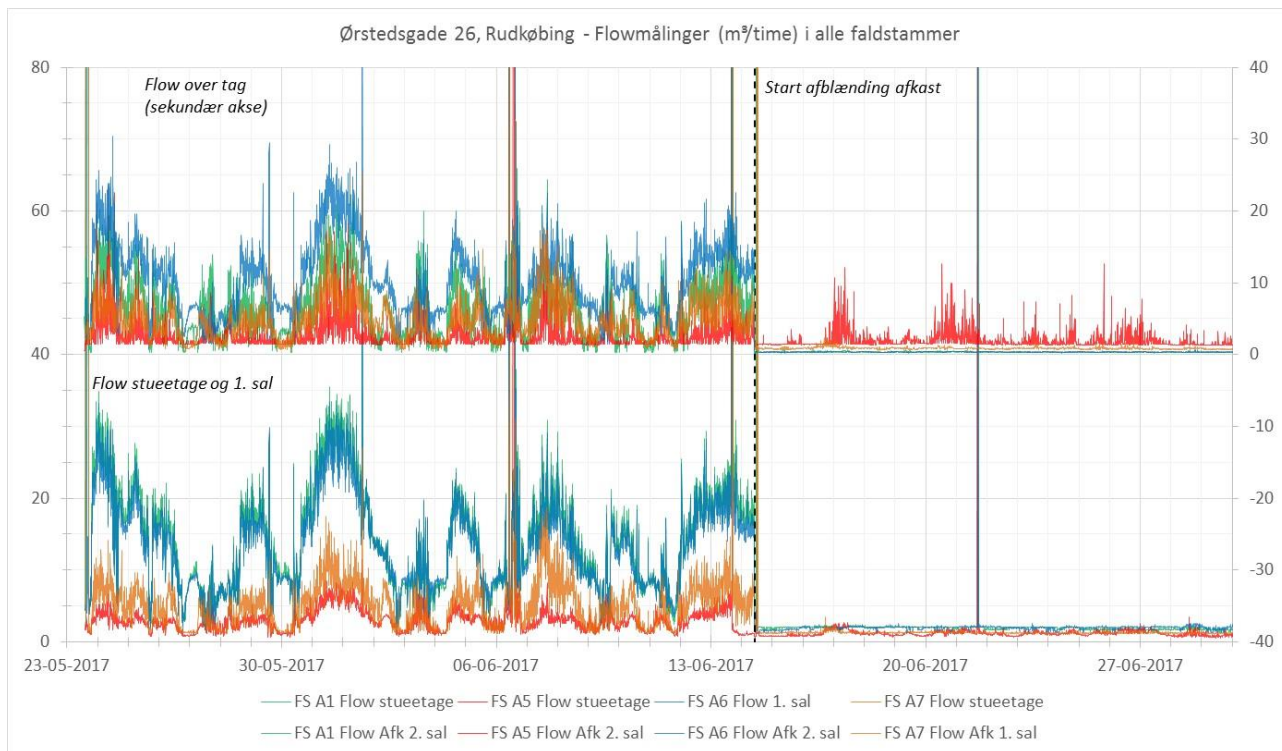
Parameter / målepunkt	FS A1 stueetage	FS A5 stueetage	FS A6 1. sal	FS A7 stueetage	Vaskemaskiner (VM)
Gennemsnit (Pa)	-1,7	-10,7	-5,6	-16,9	-0,1
Medianværdi (Pa)	4,0	-4,5	-3	0,0	-0,1
Minimum (Pa)	-78	-68,7	-66	-110	-11,0
5% af alle målinger har et tryk mindre end	-51	-48,2	-44	-79,0	-0,4
95% af alle målinger har et tryk mindre end	11	-0,3	-1	1,0	0,4
Maksimum (Pa)	56	11,6	28	11,0	10,1
Laveste min.værdi (Pa)	-398	-152	-287	-509	-129
Højeste max.værdi (Pa)	409	115	306	1173	128

3.4.2 Flow- og trykdifferenslog med afblændet luftafkast

Flow målinger

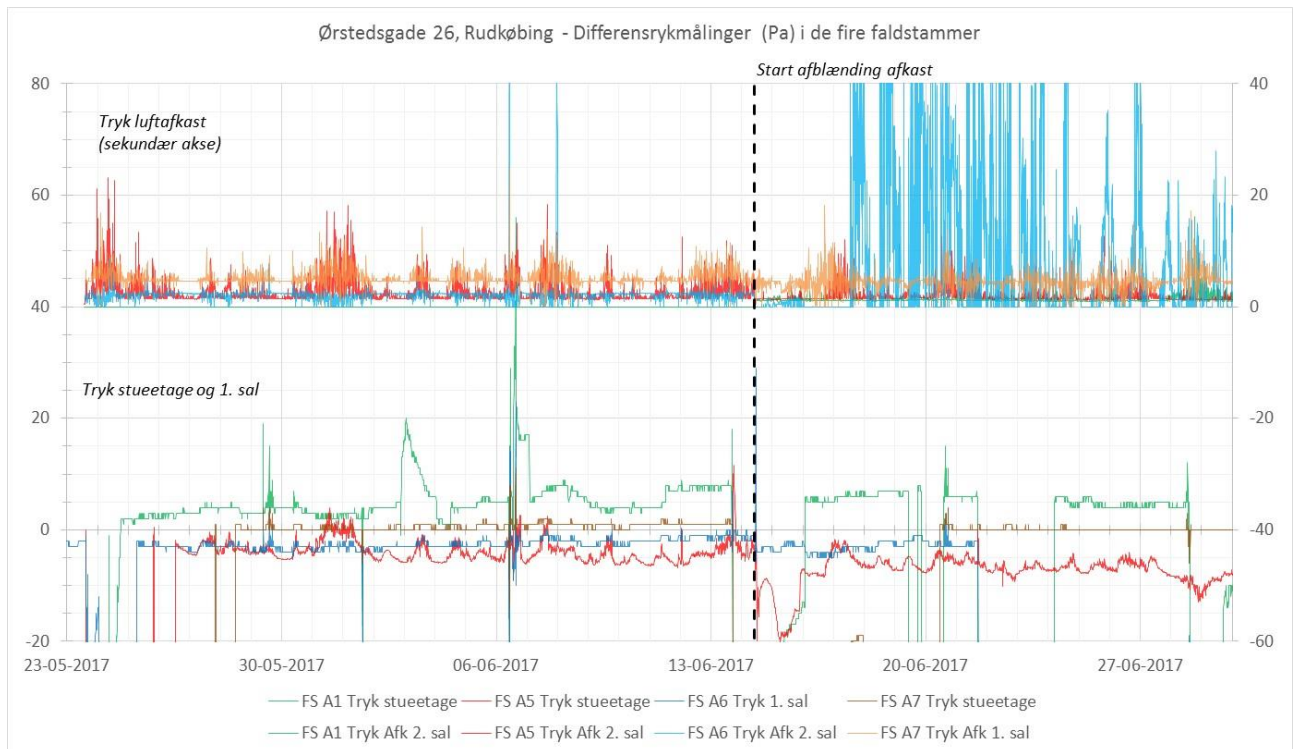
I den del af forsøget hvor luftafkastene var lukkede/afblændede, blev der målt meget lave luftflow, typisk under 3 m³/h ved såvel målepunkterne i toppen af faldstammerne som i bunden af faldstammerne. Hvorvidt der er tale om egentligt luftflow, eller luft der står og kører op og ned i faldstammen vides ikke. For

faldstamme FS A5 blev der målt højere luftflow, op til ca. 10 m³/h. Ved afmontering af plastposer på vindhætten til FS A5, blev der konstateret en revne i posen – dette kan forklarer luftflowet i perioden for "afblænding" – og derfor også, at måleperioden for FS A5 ikke umiddelbart kan betragtes som fuldstændig "afblændet".



Figur 3-6. Flowmålinger i de fire faldstammer for de to første faser; med åbent luftafkast og med afblændet luftafkast.

Trykdifferensmålinger Trykdifferensmålingerne i perioden med afblændet luftafkast, giver ikke særligt pæne og stabile målinger i sammenligning med flowmålingerne. Dette kan bl.a. skyldes, at poserne der var trukket over vindhætterne kan have haft mulighed for at blafre, hvilket kan ses på trykmålingerne, specielt for målepunkterne i toppen af faldstammerne, men til dels også for målepunkterne midt på faldstammerne.



Figur 3-7. Trykdifferensmålingerne i de fire faldstammer for de to første faser; med åbent luftafkast og med afblændet luftafkast.

3.4.3 Røgforsøg

Som det fremgår af bilag B og bilag C, så er forsøgene udført midt på faldstammerne FS A6 og FS A7. Forsøgene er dokumenteret med videosekvenser, af røgens bevægelse i hul 2 og hul 3. I det følgende er forsøgt givet en kort beskrivelse af resultatet af forsøgene. Filmsekvenserne kan rekvireres ved henvendelse til Region Syddanmark.

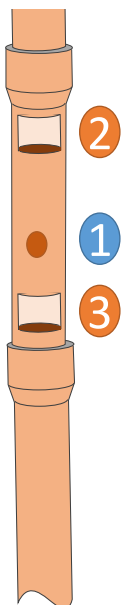
Forsøg med åbent luftafkast

Både i faldstamme FS A6 og FS A7 er det tydeligt at røgen trækkes op ad forbi hul 2, hvor røgen tydeligt ses passere forbi hullet op igennem faldstammen. I ingen af de to faldstammer ses røg ved hul 3.

Forsøg med afblændet luftafkast

Også i forsøget der blev foretaget hvor luftafkastet var afblændet, opfører røgen sig ens i de to faldstammer. Der kan ses røg ved begge huller (både hul 2 og hul3). Røgen pulserer i begge retninger, og der ses både nedadrettet strømning og opadrettet strømning.

Røgforsøgene er derved med til at forklare flowmålingerne, hvor der ses flow selv ved afblændede luftafkast, men muligvis også hvorfor der ses et større flow ved målepunkterne i midten end ved målepunkterne i toppen af faldstammerne. Idet forsøget med afblændet luftafkast tydelig viser, at der må forventes en dobbeltrettet luftstrømning i faldstammen i perioder med meget ringe luftstrømning.



3.5 Del konklusioner projekt A1

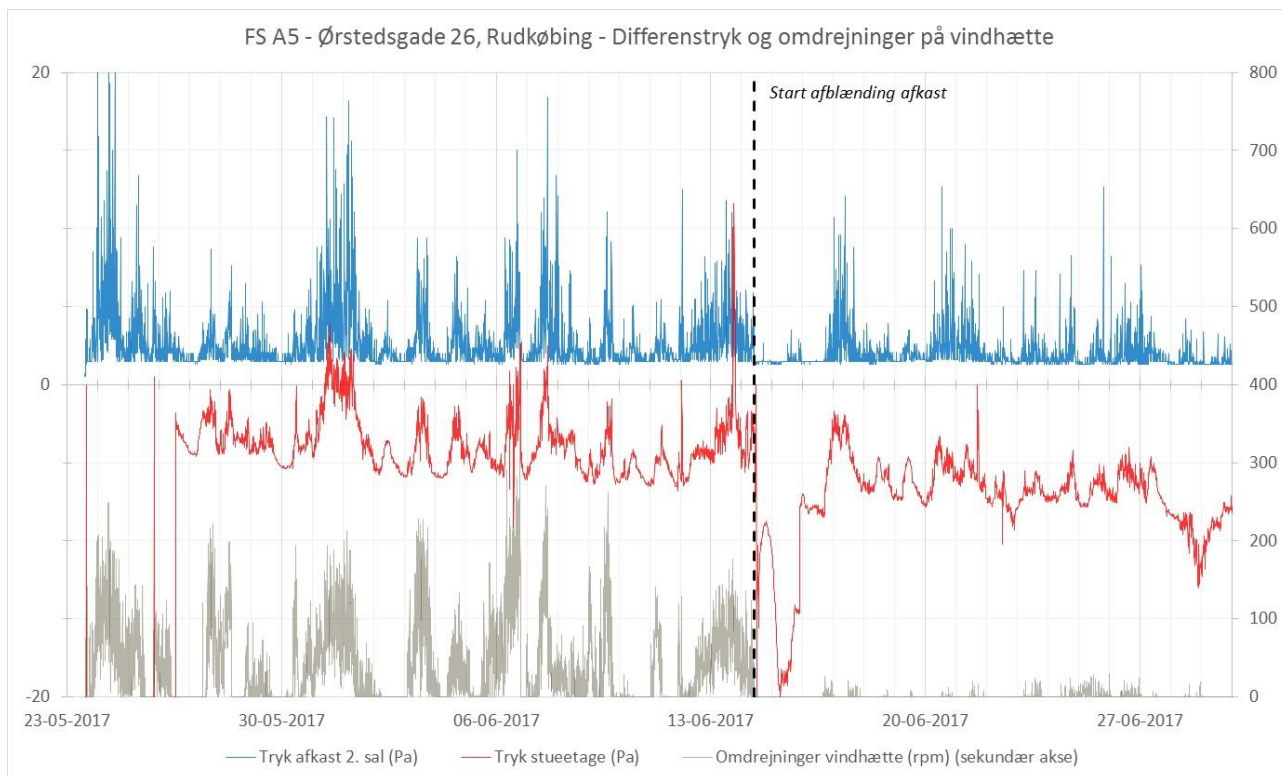
3.5.1 Trykdifferensmålinger i faldstammer med vindhætter "i drift"/udluftet

Udvikling i trykket

Der er tre forhold som har betydning for udviklingen i differenstrykket (Δp) mellem faldstammerne og indeluften:

- 1 Ændringer i trykket i indeluften.
For de trykdifferensmålere der er opsat inde i bygningen måles trykdifferensen som differensen mellem trykket i faldstammen og trykket i indeluften. Ændringer af trykket i indeluften har derfor betydning, specielt hurtige trykændringer i indeluften (som f.eks. brug af rumudluftning, emhætte og brændeovn, eller åbning af døre og vinduer) vil resultere i trykændringer mellem faldstammen og indeluften, og dermed observeres som ændringer i trykdifferensmålingerne. Da ejendommen i undersøgelsesperioden kun blev anvendt meget lidt, vil disse ændringer kun forekomme i begrænset omfang.
- 2 Vindpåvirkning af udluftninger, afløbsbrønde og trykdifferensmålere.
For de trykdifferensmålere, der er opsat ved vindhætterne, måles trykdifferensen som differensen mellem trykket i faldstammen og trykket i udeluften. Hurtige ændringer af trykket i udeluften f.eks. på grund af vindpåvirkning vil resultere i trykændringer mellem faldstammen og udeluften, og dermed kunne observeres som ændringer i den målte trykdifferens.

Vindpåvirkning kunne også give anledning til ændringer i trykforholdene i faldstammerne, primært ved trykpåvirkning af udluftninger over tag, og i mindre omfang også udluftninger af samlebrønde, da disse er tættere på jordoverfladen. Vindpåvirkningen af udluftningen over tag vil ændre på trykforholdene i hele afløbssystemet, men primært i de dele der er tættest på udluftningen, idet trykpåvirkningen må forventes at aftage med afstanden til udluftningen.

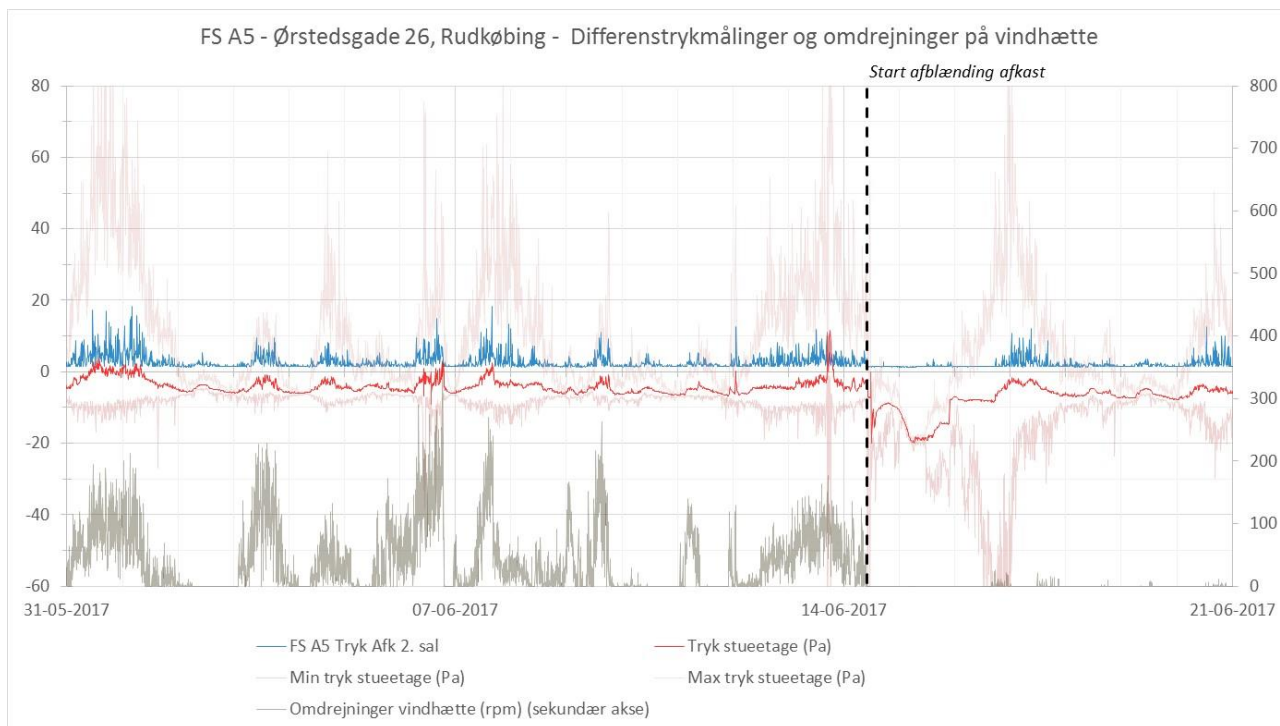


Figur 3-8. Differenstrymålinger og omdrejninger for vindhætten for faldstamme FS A5. Positive differenstrym ($\Delta p > 0$) betyder at trykket i indeluften er større end i faldstammen.

Figur 3-8 illustrerer to forhold:

- 1 At der er en tydelig sammenhæng mellem vindpåvirkningen af luftafkastet (illustreret ved hastigheden på vindhætten) og trykændringerne i faldstammen. Jo større vindpåvirkning, jo lavere tryk i faldstammen (illustreret ved at trykforskellen mellem indeluft og faldstammen stiger).
- 2 At trykændringerne i målepunktet tæt på luftafkastet tilsyneladende er større end trykændringerne i målepunktet i stueetagen. Dette forhold diskuteres yderligere i nedenfor under "Trykforhold i faldstammen".

De i Figur 3-8 viste differenstrymålinger er middelværdier for 10 minutters intervaller. I Figur 3-9 er desuden vist minimums og maksimums værdierne for disse 10 minutters intervaller. Som det ses af Figur 3-9 er der en stor spredning på målingerne specielt i perioder med kraftig vindpåvirkning, mens spredningen er meget lille i perioderne hvor vindpåvirkningen er så svag at vindhætten ikke drejer.



Figur 3-9. Udsnit af differenstrykmålinger for faldstamme FS A5, samt omdrejninger for vindhætten. Trykdifferensmålingerne er middeltrykket over en tidsperiode på 10 min. For målingerne i stueetagen viser figuren desuden de højeste og laveste målinger inden for disse 10 min.

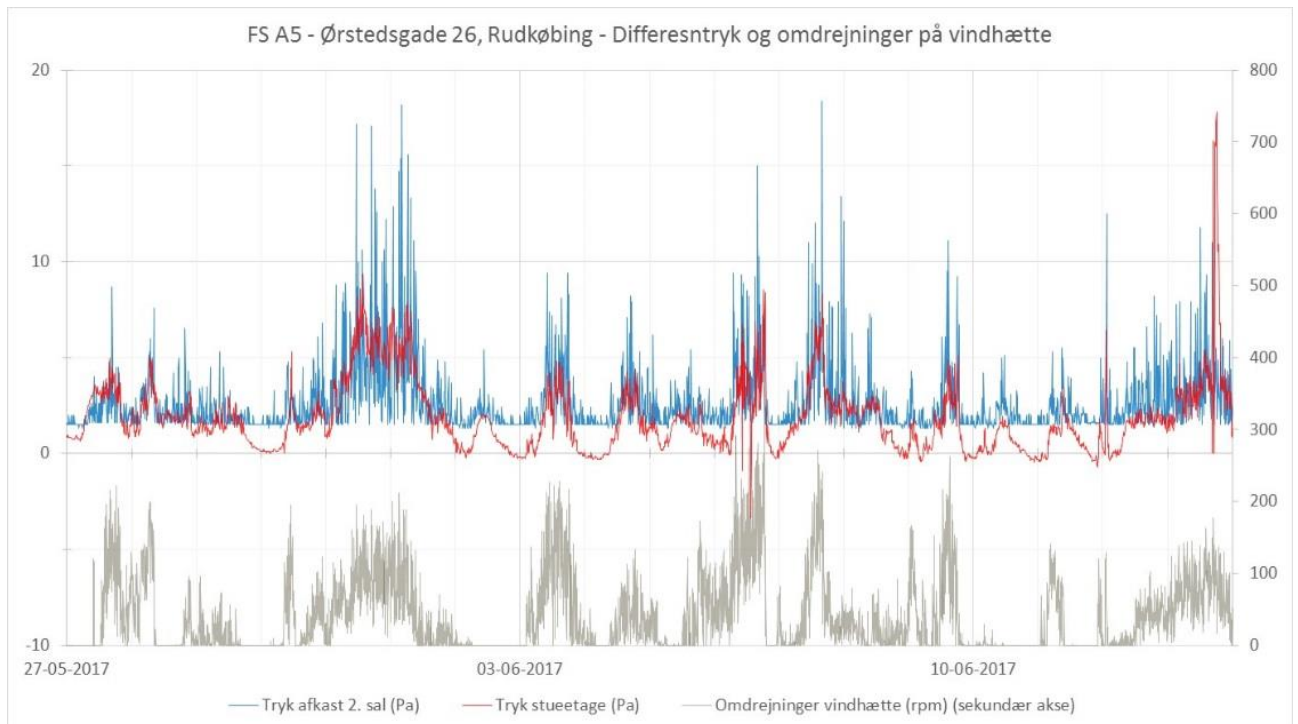
- Anvendelsen af faldstammen (vand der lukkes ud af håndvaske, udtræk på toiletter, tømning af vaskemaskiner m.v.) giver anledning til kortvarige trykændringer i faldstammen. Fra litteraturen haves at specielt anvendelsen af faldstammen kan give anledning til store udsving i trykdifferensen, og det er disse, som forsøges reduceret ved at lave udluftning af faldstammen.

Trykforhold i faldstammerne

FS A5

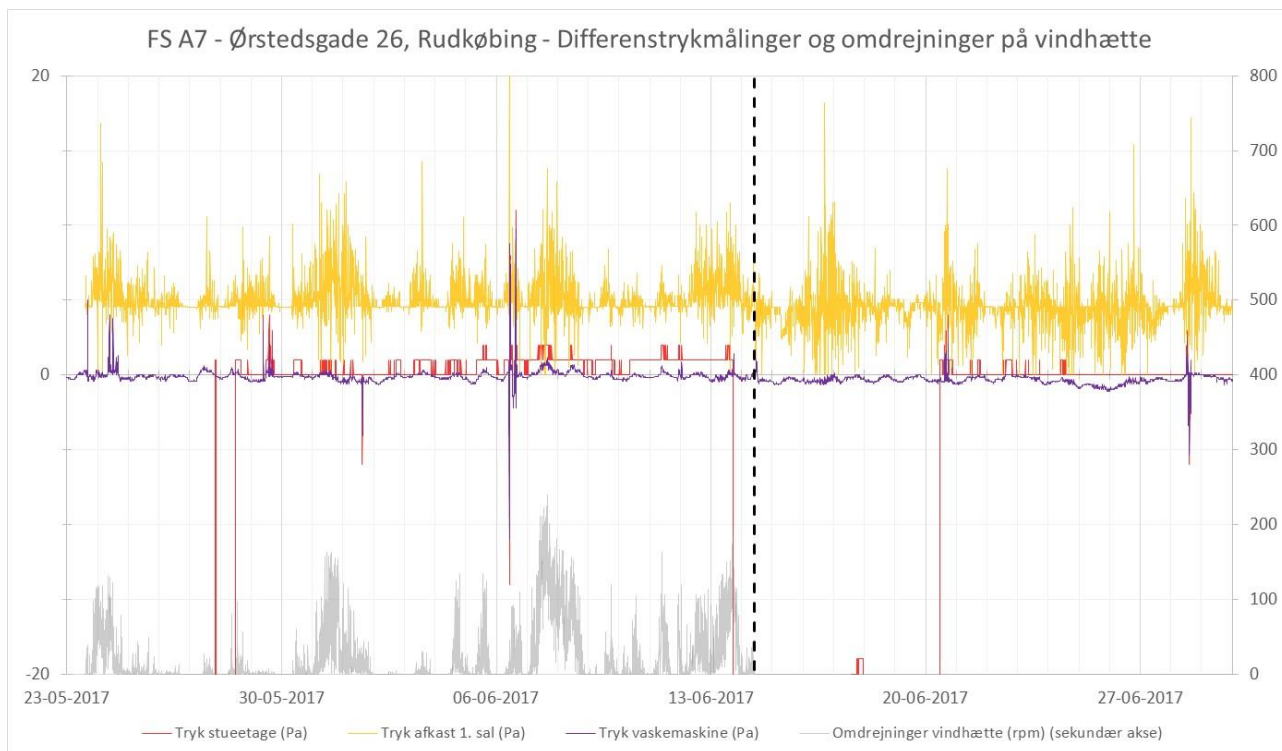
Målingerne i faldstamme FS A5 (se Figur 3-8) viser, at der i det nedre målepunkt (FS A5 stueetage) i hovedparten af tiden er et relativt overtryk i faldstammen i forhold til indeluften ($\Delta p < 0$). Det relative overtryk i bunden af faldstammen i forhold til indeluften skyldes sandsynligvis, at der i kloakken er et tryk svarende til atmosfæretrykket, mens der i indeluften er et svagt undertryk i forhold til atmosfæren. I toppen af faldstammen er et relativt undertryk i faldstammen i forhold til udeluften. Umiddelbart ser det ud til, at trykket er faldende op igennem faldstammen. Det afhænger dog af hvilket undertryk der er i indeluften. Trykforskellen mellem indeluft og udeluft er ikke målt i forbindelse med det gennemførte projekt. Da målingerne er foretaget i sommerperioden, hvor der ikke er foretaget "vinter"-opvarmning af bygningerne, og da der ikke er anvendt mekanisk udluftning, forventes trykforskellene at være små (1-3 Pa).

I Figur 3-10 er differenstrykmålingen for stueetagen parallelforskydning, for at relatere til atmosfæretrykket i stedet for trykket i indeluften. Parallelforskydningen er foretaget så de laveste værdier svarer til en trykdifferens på 0 ($\Delta p = 0$ Pa), idet det antages at trykket i målepunktet under neutrale forhold svarer til atmosfæretrykket. Parallelforskydningen er foretaget med ca. 5,5 Pa hvilket er lidt højere end de forventede 1-3 Pa.



Figur 3-10 Udsnit af differenstrykmålinger og omdrejninger for vindhætten for faldstamme FS A5. Differenstrykmålingerne i stueplan er parallelforskudt, så der ikke forekommer overtryk i faldstammen.

Som det ses i Figur 3-11, er der i hovedparten af tiden et lavere tryk i toppen af faldstammen end i bunden af faldstammen, hvilket giver en opadrettet luftstrøm i faldstammen.



Figur 3-11. Differenstrykmålinger i mellem indeluft og faldstamme FS A7, samt omdrejninger for vindhætten. Positive differenstryk betyder at trykket i indeluften er større end i faldstammen.

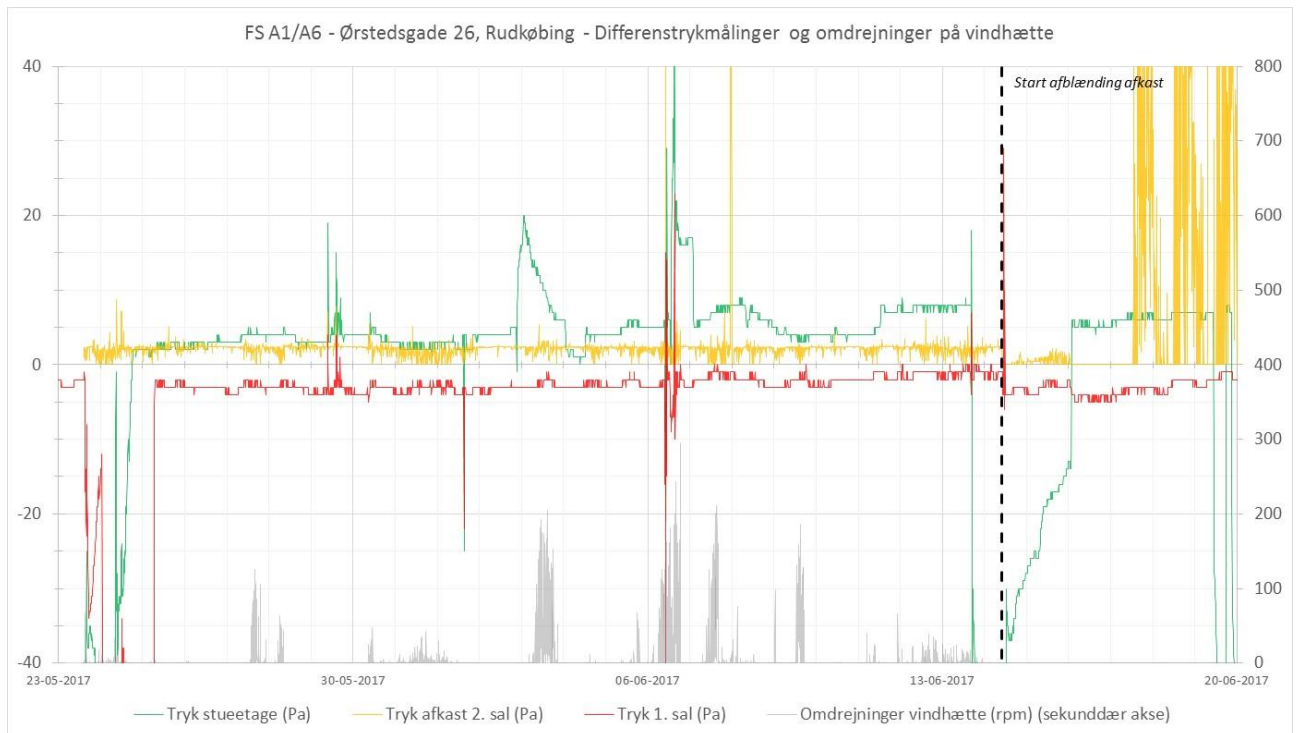
FS A7

Samme tendens ses for faldstamme FS A7 jf. Figur 3-11. Dog måles i det meste af tiden et undertryk ved målepunktet i bunden af faldstammen. Undertrykket er dog større udvendigt ved luftafkastet, også selvom der foretages en parallelforskydning af målepunktet i bunden af faldstammen.

Desværre giver målingerne ved vaskemaskinen (VM) ikke brugbare resultater og måler kun meget små trykforskelle. Dette kan enten skyldes en utæthed ved prøvetagningspunktet eller ved en af de andre tilslutninger til faldstammen (se Bilag C).

FS A1/A6

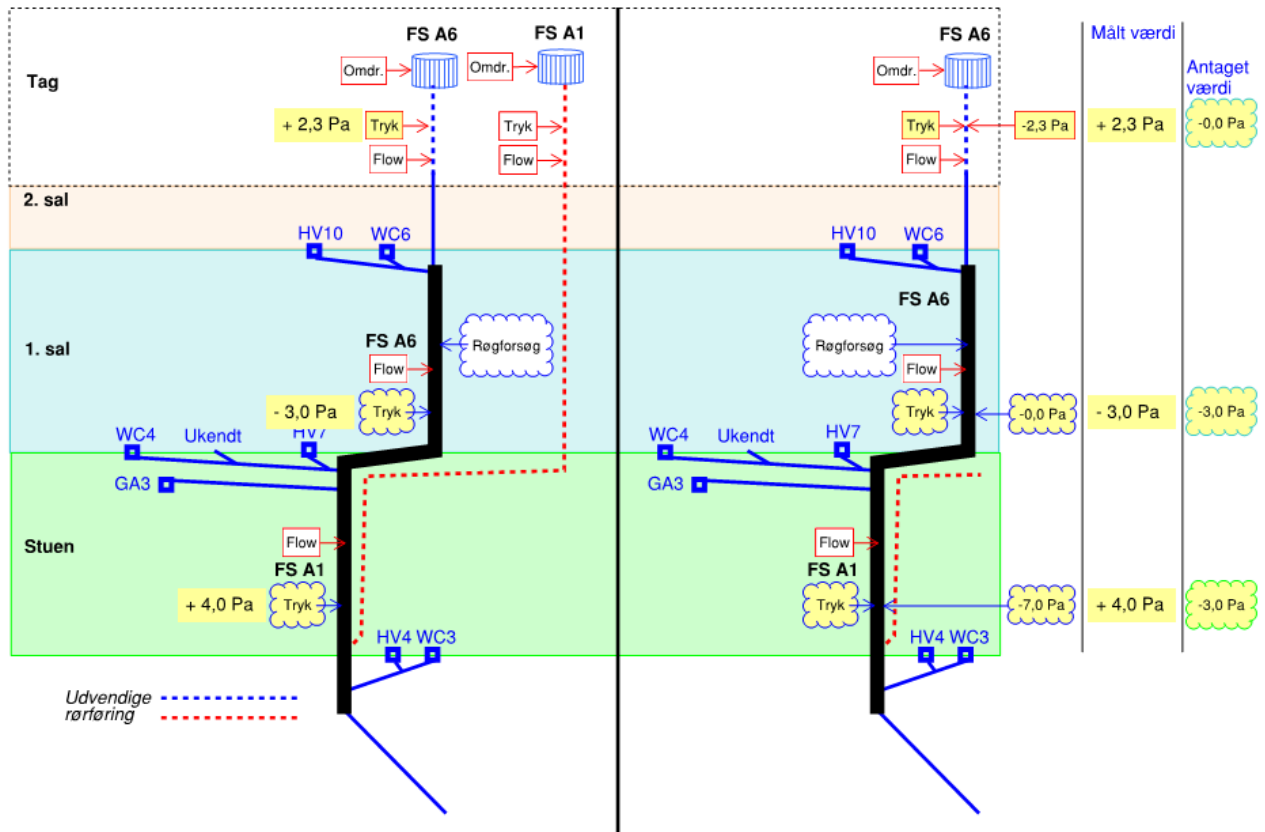
For faldstamme FS A1/A6 ses ikke samme entydige tendens. I Figur 3-13 er målepunkternes placering angivet sammen med mediantrykket for måleperioden hvor udluftningen var åben. I Figur 3-12 vises trykudviklingen for hele perioden.



Figur 3-12. *Differenstrykmålinger i mellem indeluft og faldstamme FS A1/A6, samt omdrejninger for vindhætten. Positive differenstryk betyder at trykket i indeluften er større end i faldstammen, og negativ værdi betyder at trykket i faldstammen er højere end i indeluften (relativt overtryk).*

I målepunktet i toppen af FS A6 måles som forventet undertryk, og i målepunktet på midten af faldstammen (FS A6 1. sal) måles et svagt relativt overtryk i forhold til indeluften. Dette passer godt sammen med den røgtest der er udført hvor der ses en tydelig opadgående luftstrøm mellem de to målepunkter.

I målepunktet i bunden af faldstammen (FS A1 stueetage) måles et undertryk som er større end i toppen ved FS A6. Dette er overraskende. Undertrykket kan skyldes påvirkningen fra udluftningen FS A1, der er koblet på faldstammen under målepunktet "FS A1 stueetage". Trykdifferensen i toppen af FS A1 kendes ikke på grund af fejl ved logningen, hvorfor det ikke vides om udluftningen kan give anledning til det målte undertryk i "FS A1 stueetage". Undertrykket i målepunktet passer ikke sammen med resultaterne af målepunktet "FS A6 1. sal", idet der i givet fald vil være lavere tryk både over og under "FS A6 1. sal". En forklaring kunne være, at der er en fortegnstfejl ved at der er byttet om på tilslutningen af målepunktet, men dette vurderes ikke at være tilfældet, da tidlige variationer har overensstemmende udsving. En anden forklaring kan være at der er utætheder et eller flere steder langs faldstammen.



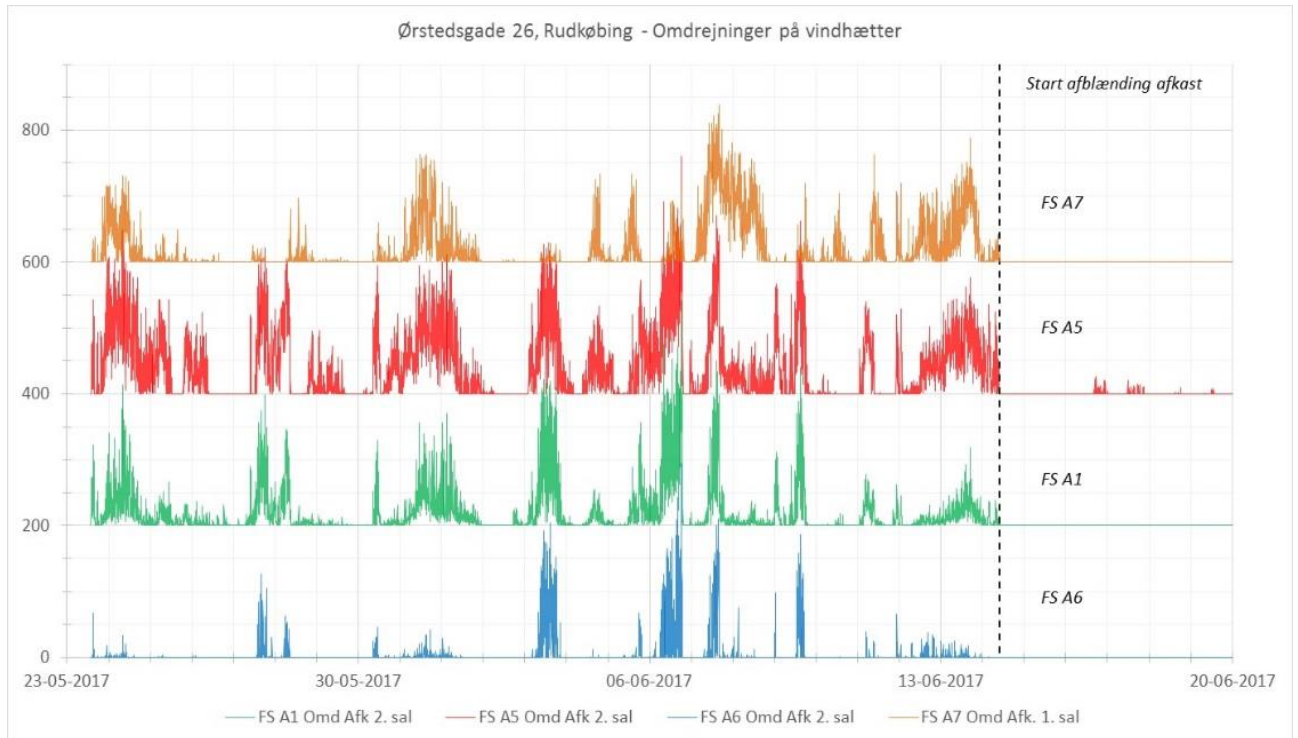
Figur 3-13. Konceptuel model af faldstammen FS A1/A6, med placering af målepunkter. Værdierne som er angivet på figuren til venstre, er medianværdierne for måleperioden med åbent luftafkast. En positiv værdi angiver at trykket i faldstammen er lavere end i inde-/udeluft, og en negativ værdi at trykket i faldstammen er højere end i inde-/udeluft (relativt overtryk i faldstammen). På den højre side er de målte trykdifferenser forsøgt oversat til relative tryk i faldstammen, idet der det er antaget at trykket i atmosfæren er 0,0 Pa og -3,0 Pa i indeluften.

3.5.2 Omdrejninger på vindhætten, differenstryk og luftflow

Omdrejninger på vindhætter

Som det fremgår af Figur 3-14 og af Tabel 3.4, så er der stor forskel på hvor mange omdrejninger de forskellige vindhætter har pr. minut til et givent tidspunkt. Vindhætten på FS A6 tager de laveste omdrejningshastigheder, efterfulgt af FS A1, mens FS A5 har de højeste omdrejningshastigheder.

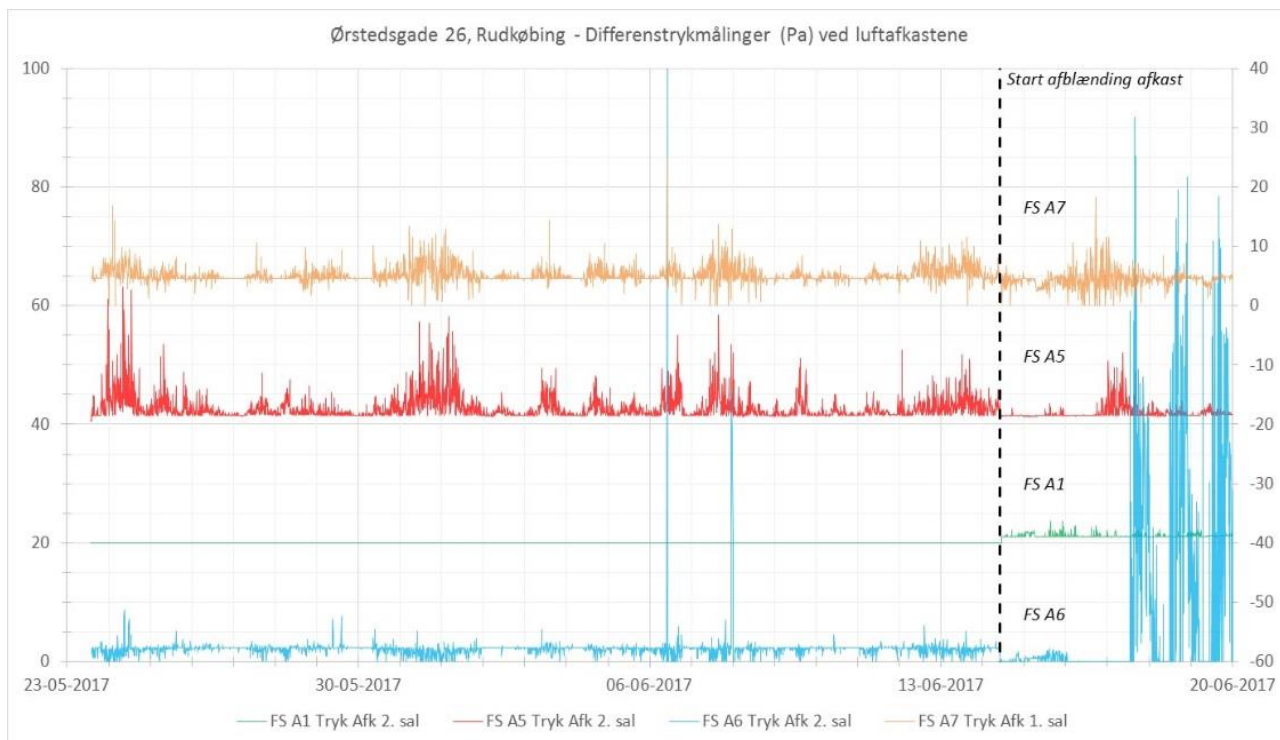
De tre vindhætter FS A1, A5 og A6 har et forholdsvis ensartet mønster i omdrejningerne mens vindhætten på FS A7 har et lidt anderledes mønster. Nogle gange er omdrejningshastigheden for FS A7 lavere end for FS A5 og andre gange højere. Forskellen skyldes sandsynligvis vindhætternes placering, hvor FS A7 er placeret væk fra de andre tre vindhætter.



Figur 3-14. Sammenligning af omdrejningshastighederne på de fire vindhætter. For bedre at illustrere de fire vindhætters hastigheder er disse parallelforskuet, så FS A1 er forskudt med 200 rpm (omdrejninger per minut.). FS A5 er forskudt med 400 rpm og FS A7 med 600 rpm.

Trykdifferens

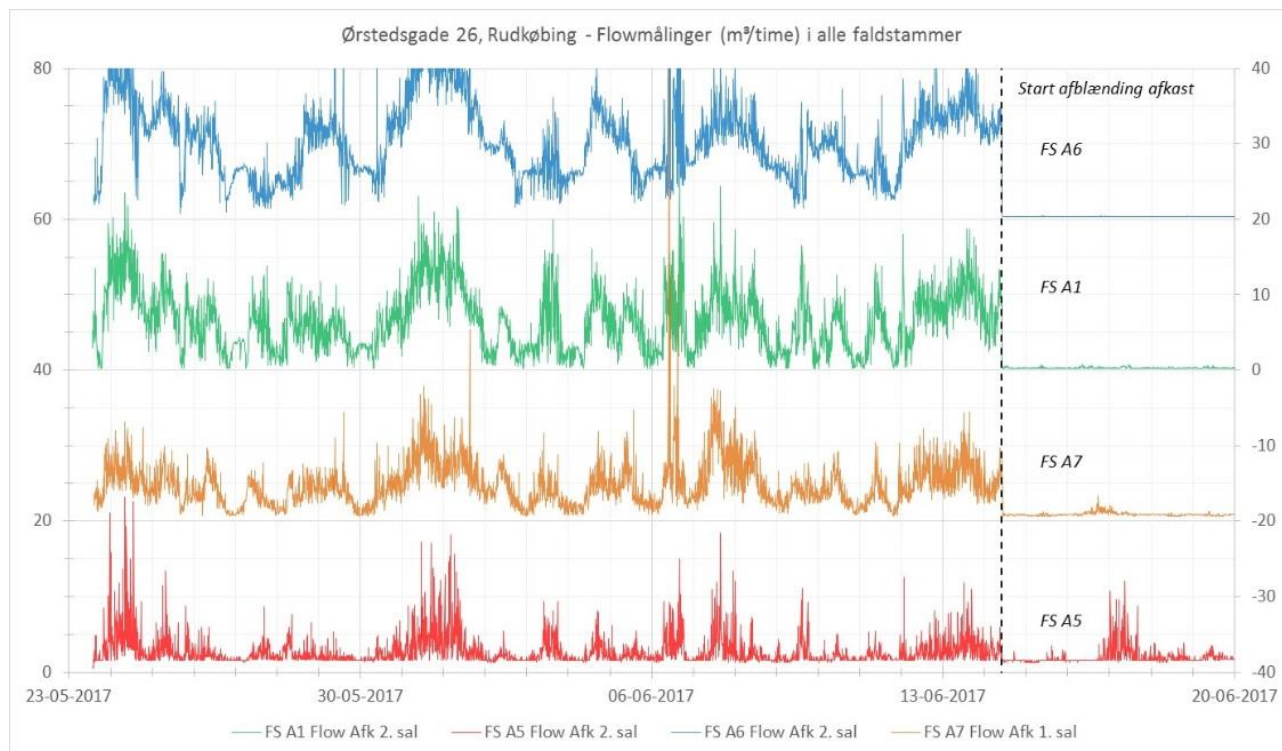
Som det fremgår af Figur 3-15 og af Tabel 3.5, så er der på samme måde forskel i de trykdifferenser der bliver skabt i toppen af luftafkastene. Det ses at de trykdifferenser der opnås har et sammenfald med hastighederne på vindhætterne, både tidsmæssigt for den enkelte vindhætte, men også vindhætterne i mellem. Hvis der ses bort fra at trykdifferensmålingerne for FS A1 er fejlbehæftede, så er det tydeligt at de vindhætter med størst hastighed også genererer de største undertryk.



Figur 3-15. Sammenligning af trykdifferenserne (middelværdierne) i målepunkterne ved de fire vindhætter. For bedre at illustrere forskellene mellem de fem målepunkter, er disse parallelforskudt så FS A1 er forskudt med 20 Pa. FS A5 er forskudt med 40 Pa og FS A7 med 60 Pa. Bemærk at FS A1 har været fejlbehæftet under hele den del af forsøget hvor luftafkastet har været åbent.

Luftflow

Som det fremgår af Figur 3-16 og af Tabel 3.3 så er der også forskel i de flow der bliver skabt i toppen af luftafkastene. Det ses at der er sammenhæng mellem hastighederne på vindhætterne/differenstrykkene og den tidsmæssige udvikling i luftflowet for den enkelte vindhætte, men ikke vindhætterne i mellem, idet vindhætterne med de laveste omdrejningshastigheder og laveste differens-tryk har de højeste flow hastigheder. COWI har ingen forklaring til dette.

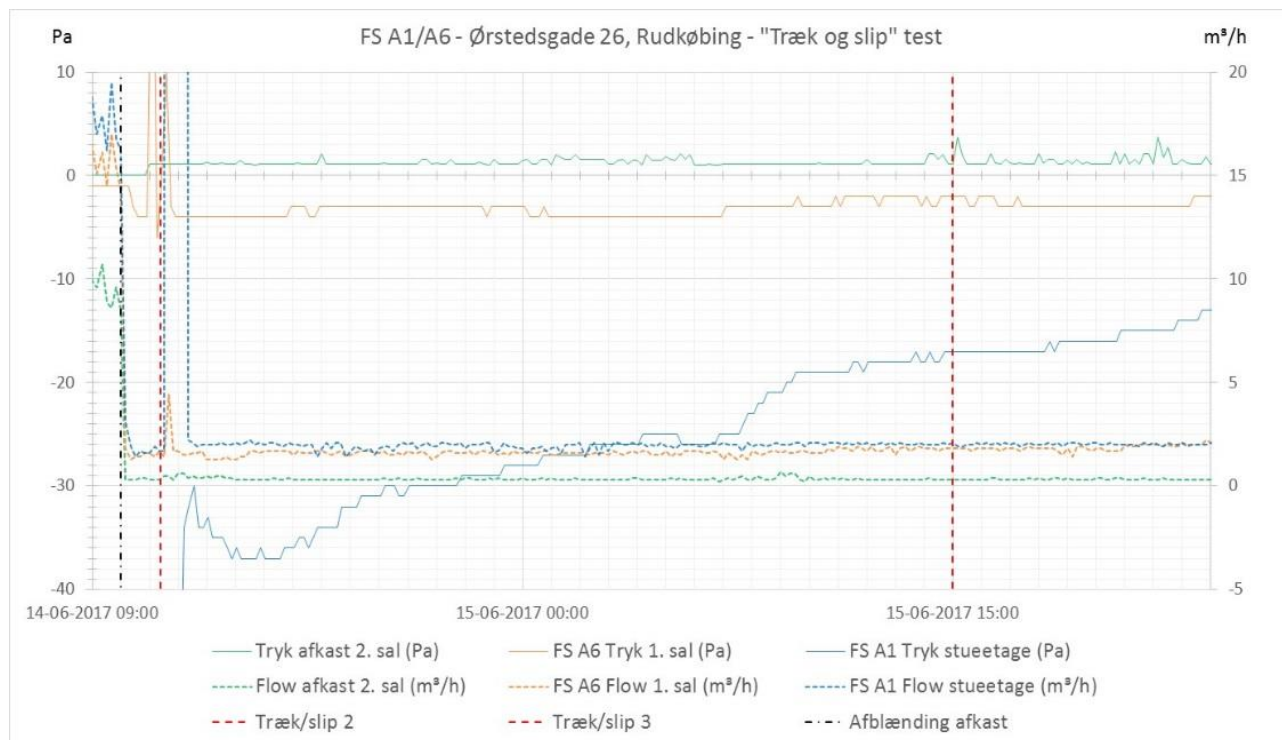


Figur 3-16. Sammenligning af luftflow (middelværdierne) i målepunkterne ved de fire vindhætter. For bedre at illustrere forskellene mellem de fem målepunkter er disse parallelforskudt, så FS A7 er forskudt med 20 m³/h. FS A1 er forskudt med 40 m³/h og FS A6 med 60 m³/h.

3.5.3 "Træk og slip"

For at illustrere anvendelsen af faldstammerne, er der udført fire stk. træk og slip test, hvor der i samtlige afløb (håndvaske, toiletter, gulv afløb, vaskemaskine afløb) er blevet tilført 6-8 liter vand. Det var forventningen at disse test ville give anledning til kortvarige men kraftige trykændringer i faldstammen.

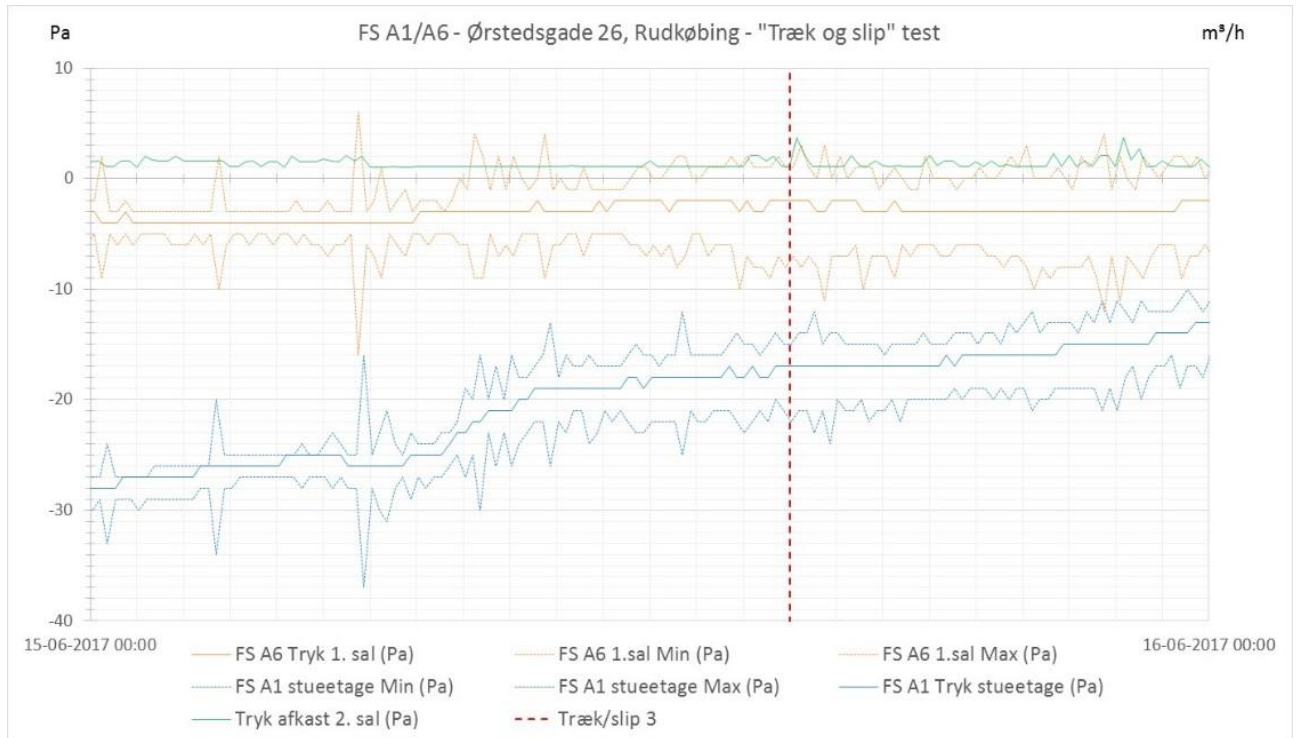
Træk og slip test nr. 1, nr. 2 og nr. 4 er udført i forbindelse med opsætning og nedtagning af måleudstyr, idet der på disse tidspunkter var teknikere i bygnin-gerne. Som det fremgår af Figur 3-17 så er dette uheldigt, idet systemet ikke er faldet til ro på dette tidspunkt, hvorfor data fra træk og slip testene "drukner" i støj fra ændringerne. Tidspunktet for træk og slip test nr. 3 – der er udført om eftermiddagen efter at ændringerne på systemet er foretaget – er et væsentligt bedre tidspunkt, idet systemet på dette tidspunkt er i ro.



Figur 3-17. Tryk og flow målinger for periode med afblændede luftafkast. Opsætningen af afblændede luftafkast er markeret, ligesom træk og slip test ca. en time efter afblændingen er udført, og træk og sliptesten som er udført eftermiddagen efter.

Når man ser på tidspunktet for 'Træk og slip test nr. 3', så kan der ikke ses nogen effekt af forsøget. Dette kan skyldes at de værdier der afbildes i Figur 3-17 er gennemsnitsværdier for måleperioder af 10 minutter, både med hensyn til tryk og flow. For trykmålingerne haves udover gennemsnitsværdierne også minimums- og maksimumsværdierne for de 10 minutters intervaller. I Figur 3-18 er disse afbildet for perioden omkring træk og sliptesten nr. 3. Heller ikke i denne figur er det tydeligt at se effekten af træk og sliptesten.

Samlet må det derfor konkluderes at det med måleinterval der er anvendt (10 minutter) ikke har været muligt at eftervise effekten af anvendelsen af faldstammen. Såfremt dette skal kunne eftervises, skal der anvendes meget mindre tidsintervaller for logging af trykændringer.



Figur 3-18. Trykmålinger i FS A1/A6 med såvel gennemsnitsmålinger som minimums og maksimums målinger.

4 Projekt A2 – forureningskoncentrationer bag vandløse og i faldstammer

4.1 Udfordring/formål

I forbindelse med forureningsundersøgelser foretages der typisk tre typer af undersøgelser af kloakkerne:

- > tv-inspektion af kloakstrengene for at kortlægge standen og finde eventuelle utætheder
- > måling af luftens indhold af klorerede kulbrinter i tilgængelige brønde (enten ved aktive eller passive målinger)
- > måling af luftens indhold af klorerede kulbrinter bag vandløse og i faldstammer.

Målingerne viser ofte, at der er forhold omkring indtrængning og spredning som man ikke har styr på. F.eks. kan der være stor forskel på de koncentrationer der måles bag vandløse, der tilsyneladende er på samme faldstamme, eller at der er store forskelle på de koncentrationer der måles bag vandløsene og i de tilhørende kloakbrønde. Der er tidligere i forbindelse med "Monitering 5" på lokaliteten udført målinger bag udvalgte vandløse, men der er ikke COWI bekendt foretaget målinger efter etablering af udluftningen af faldstammerne, hvorfor det ikke vides hvilken betydning foranstaltningen har haft.

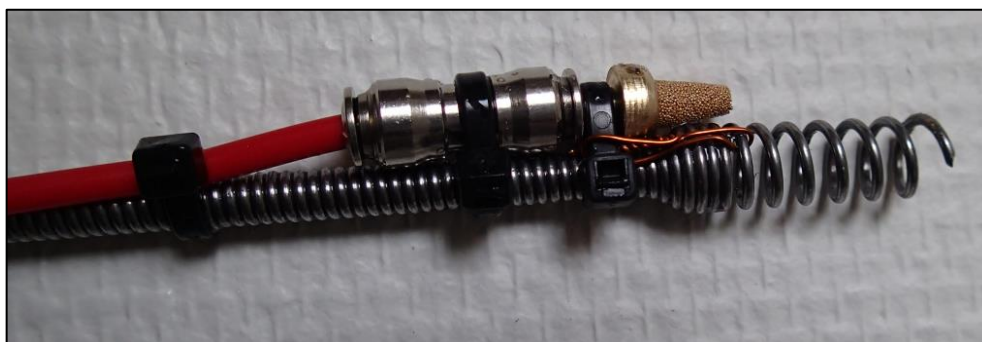
4.2 Gennemførte undersøgelser

Som udvidelse til projekt A1, er der gennemført samhoørende koncentrationsmålinger bag vandløse indvendigt i bebyggelsen hhv. før og efter afblænding af udluftninger til faldstammerne. I Miljøprojekt 1954 er det behandlet, at der kan være stor forskel på de resultater der opnås, afhængig af hvor stort volumen af luftprøver der udtages, og dermed hvor stor opblanding der opnås ved målepunktet. Det er COWIs opfattelse, at et af de parametre der kan have indflydelse på dette, kan være om faldstammen er udluftet eller ej.

Ved nærværende delprojekt er der således gennemført koncentrationsmålinger med felt-GC MS i relation til udvalgte afløbsinstallationers vandlåse. Målingerne er gennemført hhv. før og efter afblænding af udluftede faldstammer og tilsvarende før og efter gennemskyning af den respektive vandlås.

Fordelen ved at foretage koncentrationsmålinger med felt-GC MS er, at der skal forholdsvis beskedne luftmængder til at udføre en koncentrationsmåling. Der kan opsamles helt ned til ca. 0,1 liter luftprøver som derfor kan give en bedre "punkt måling" end ved sammenligning med opsamling på f.eks. kulrør, hvor der traditionelt opsamles i størrelsesordenen 10-100 liter.

Som et forsøg til at understøtte undersøgelserne af dynamikken i afløbssystemet, er der i begrænset omfang foretaget målinger i forskellige afstande bag vandlåsen til en håndvask, til om muligt at evaluere betydningen af, hvor luftprøven udtages i forhold til placering af vandlåse. Idéen var at føre en prøvetagningslange ud gennem vandlåsen og derpå opsamle luftprøver i forskellige afstande efter vandlåsen. I praksis var det vanskeligt at føre en fleksibel slange igennem og forbi rørforløbet til vandlåsene, uden at slangen blot "krøllede" sammen i rørforløbet og dermed ikke blev ført tilstrækkeligt langt bagud i rørforløbet. Det blev forsøgt at montere prøvetagningsslangen på en søge-fjeder og en version af søge-fjederen med en "krog" til at "skubbe"/krænge sig forbi drejningerne i rørforløbet, uden at dette lykkedes optimalt (Figur 4-1 og Figur 4-2).



Figur 4-1. Prøvetagningslange med sintret metalfilter monteret på søge-fjeder.



Figur 4-2. Prøvetagningslange med sintret metalfilter monteret på søge-fjeder med krog.

Det lykkedes at føre prøvetagningsslangen igennem og videre ud bag vandlåsen til håndvask HV4 og HV7.

Oprindeligt var det ønsket at gennemføre tilsvarende undersøgelsesprincip for en vandlås til et toilet, men det var ikke praktisk muligt at føre prøvetagnings-slangen tilstrækkeligt langt forbi vandlåsen, hvormed der ikke kunne opsamles luftprøver i forskellige afstande bag toilettes vandlås.

Til opsamling af luftprøverne bag vandlåse, er der anvendt hhv. en Ø4 mm og Ø6 mm PE-slange med monteret sintret metalfilter, som er ført gennem vandlåsen. Inden opsamling af prøvevolumenet med injektionssprøjte, er slangen tømt for "stillestående luft" svarende til det indvendige volumen for længden af den anvendte slange samt længden/volumenet af rørføringen efter vandlåsen. Prøveopsamlingen er på denne baggrund gennemført ved at "flytte" luftvolumenet i rørføringen hen til prøvetagnings-slangen som "stempeleffekt", hvilket den oprindelige idé til prøveopsamling netop havde til formål at undgå. Den opsamlede luftprøve med et volumen på 0,1 liter er derpå injiceret direkte i felt-GC MS'en.

4.3 Resultater

Målingerne er udført af to omgange. En gang i perioden hvor faldstammerne var udluftede (13. juni 2017) og en gang hvor faldstammerne var afblændet (21. juni 2017). Resultaterne af målingerne for de chlorerede ethylen fremgår af Tabel 4.1.

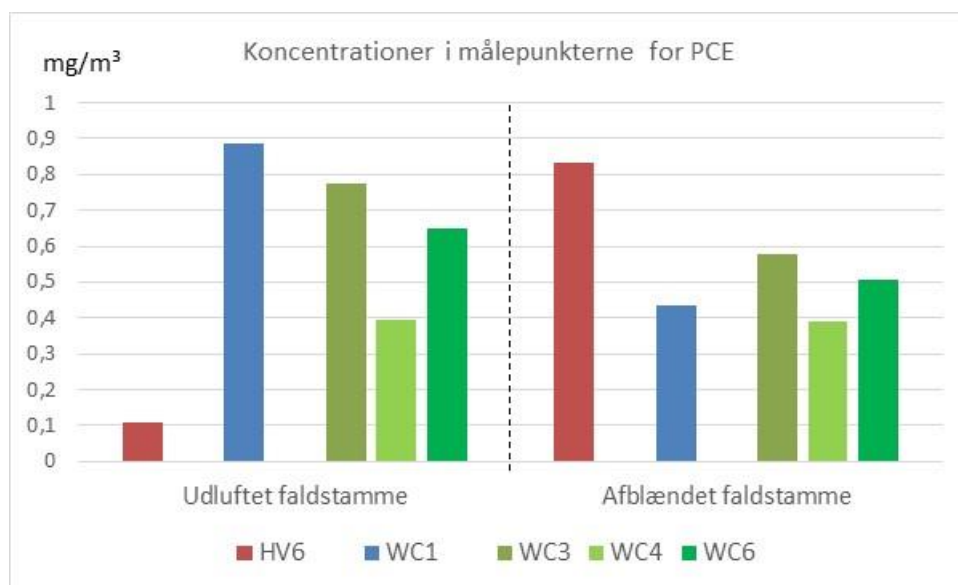
Tabel 4.1. Resultater af målinger med felt GCMS. Alle værdier er i mg/m³.

Målepunkt	Faldstamme	Beregnet afstand bag vandlås	Før / efter skyl	Faldstamme udluftet / afblændet	Tetrachlorethylen	Trichlorethylen	cis-1,2-Dichlorethylen	trans-1,2-Dichlorethylen	Vinylchlorid
HV4	FS A1 stue	1,1 m	Før	Udluftet	0,650	0,053	0,016	<0,002	<0,005
HV4	FS A1 stue	3,1 m	Før	Udluftet	0,471	0,072	0,016	<0,002	<0,005
HV4	FS A1 stue	5,0 m	Før	Udluftet	0,376	0,056	0,014	<0,002	<0,005
HV6	FS A5	2,2 m	Før	Udluftet	0,109	<0,001	<0,002	<0,002	<0,005
HV6	FS A5	2,2 m	Efter	Udluftet	0,050	<0,001	<0,002	<0,002	<0,005
HV6	FS A5	0,6 m	Før	Afblændet	0,834	0,189	<0,002	<0,002	<0,005
HV6	FS A5	1,6 m	Før	Afblændet	0,831	0,135	<0,002	<0,002	<0,005
HV6	FS A5	2,0 m	Før	Afblændet	0,563	0,180	<0,002	<0,002	<0,005
HV6	FS A5	0,6 m	Efter	Afblændet	0,337	0,035	<0,002	<0,002	<0,005
HV7	FS A1 1. sal	1,1 m	Før	Udluftet	0,531	0,075	<0,002	<0,002	<0,005
HV7	FS A1 1. sal	2,1 m	Før	Udluftet	0,857	0,118	0,018	<0,002	<0,005
WC1	På Kloak	1,1 m	Før	Udluftet	0,884	0,123	0,024	<0,002	<0,005
WC1	På Kloak	1,1 m	Efter	Udluftet	0,812	0,054	<0,002	<0,002	<0,005
WC1	På Kloak	2,1 m	Efter	Udluftet	0,744	0,089	0,013	<0,002	<0,005
WC1	På Kloak	0,3 m	Før	Afblændet	0,436	0,147	0,069	<0,002	<0,005
WC1	På Kloak	1,3 m	Før	Afblændet	0,582	0,343	0,140	<0,002	<0,005
WC1	På Kloak	2,4 m	Før	Afblændet	0,52	0,215	0,076	<0,002	<0,005
WC1	På Kloak	0,3 m	Efter	Afblændet	0,566	<0,001	<0,002	<0,002	<0,005
WC3	FS A1 stue	1,1 m	Før	Udluftet	0,776	0,102	0,022	<0,002	<0,005
WC3	FS A1 stue	2,1 m	Efter	Udluftet	0,633	0,088	0,018	<0,002	<0,005
WC3	FS A1 stue	0,3 m	Før	Afblændet	0,577	0,112	0,052	<0,002	<0,005
WC3	FS A1 stue	1,3 m	Før	Afblændet	0,542	0,187	<0,002	<0,002	<0,005
WC3	FS A1 stue	2,4 m	Før	Afblændet	0,533	0,148	0,049	<0,002	<0,005
WC3	FS A1 stue	0,3 m	Efter	Afblændet	0,396	0,071	0,008	<0,002	<0,005
WC4	FS A1 1. sal	1,1 m	Før	Udluftet	0,396	0,033	<0,002	<0,002	<0,005
WC4	FS A1 1. sal	2,1 m	Efter	Udluftet	0,407	0,057	<0,002	<0,002	<0,005
WC4	FS A1 1. sal	0,3 m	Før	Afblændet	0,390	0,071	<0,002	<0,002	<0,005
WC4	FS A1 1. sal	1,3 m	Før	Afblændet	0,345	0,078	<0,002	<0,002	<0,005
WC4	FS A1 1. sal	2,4 m	Før	Afblændet	0,426	0,113	0,020	<0,002	<0,005
WC4	FS A1 1. sal	0,3 m	Efter	Afblændet	0,327	0,059	<0,002	<0,002	<0,005
WC6	FS A1 2. sal	1,1 m	Før	Udluftet	0,648	0,145	0,036	<0,002	<0,005
WC6	FS A1 2. sal	2,1 m	Efter	Udluftet	0,687	0,116	0,016	<0,002	<0,005
WC6	FS A1 2. sal	0,3 m	Før	Afblændet	0,508	0,134	0,034	<0,002	<0,005
WC6	FS A1 2. sal	1,3 m	Før	Afblændet	0,457	0,204	0,058	<0,002	<0,005
WC6	FS A1 2. sal	2,4 m	Før	Afblændet	0,402	0,144	0,006	<0,002	<0,005
WC6	FS A1 2. sal	0,3 m	Efter	Afblændet	0,579	0,109	0,026	<0,002	<0,005

4.4 Del konklusion projekt A2

4.4.1 Målinger på udluftet og afblændet faldstammer

Når man ser på resultaterne af de udførte koncentrationsmålinger, så er der stor forskel på hvordan koncentrationerne varierer alt efter om faldstammen er udluftet eller afblændet. Som det fremgår af Figur 4-3, så er koncentrationen i målepunkt HV6 væsentligt højere når faldstammen er afblændet end når den er udluftet. I målepunktet WC1 ses det modsatte forhold, og i målepunkterne WC3, WC4 og WC6 ses samme koncentrationer ved de to forhold eller en smule lavere koncentrationer ved den afblændede faldstamme.



Figur 4-3. Illustration af koncentrationerne i målepunkterne afhængigt af om faldstammerne er udluftede eller afblændede.

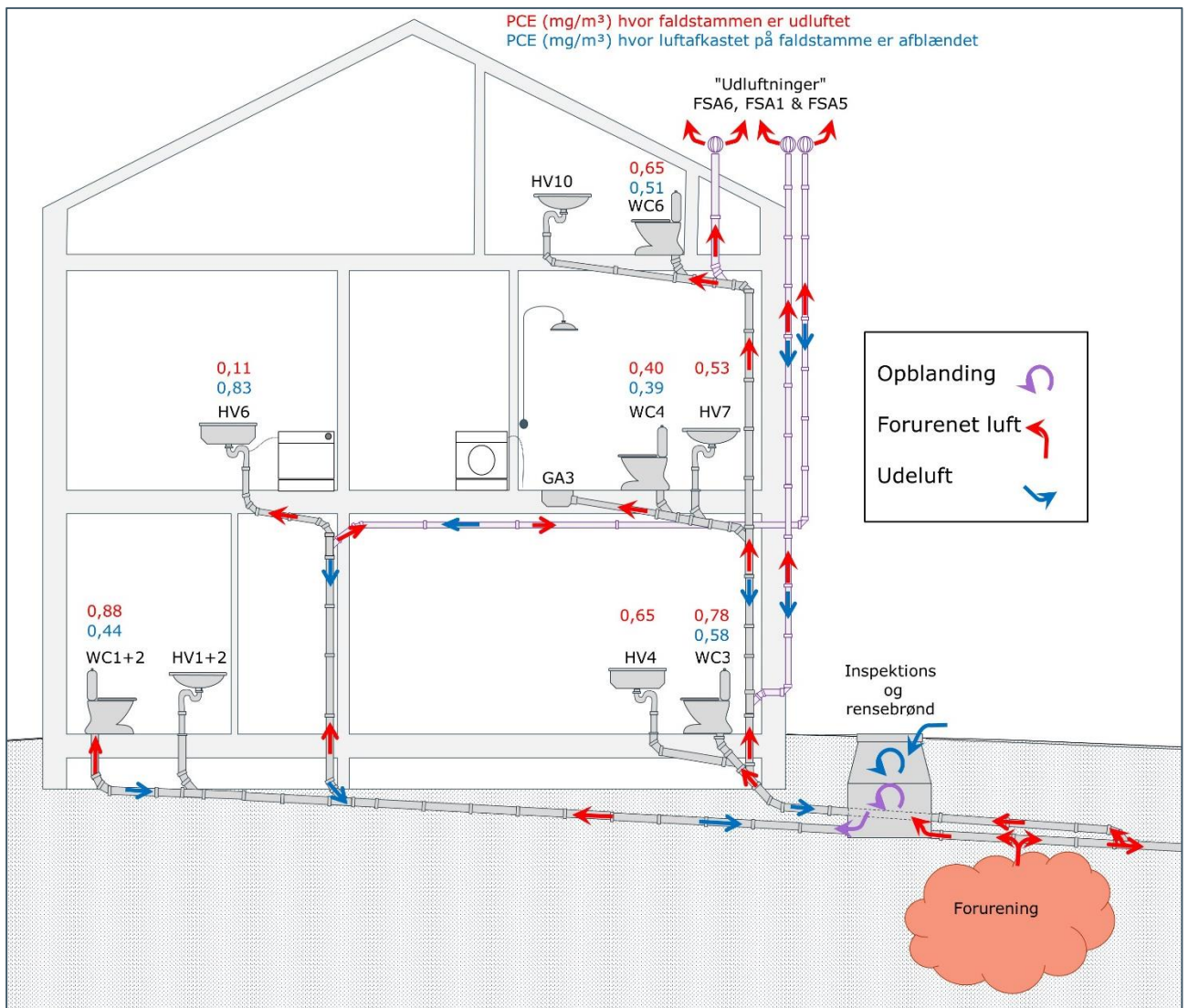
Hypotese 1: Fortynding via samlebrønden

De varierende forhold kan dels forklares med udformningen af afløbssystemet dels med den mulige placering af indtrængningsstedet for forureningen til kloakken. I Figur 4-4 er givet en konceptuel model for udformningen af kloakken til hovedbygningen på Ørstedsgade 26, Rudkøbing. Indtrængningsstedet for forureningen er foreslået til at være i garagen/vognporten, nedstrøms for samlebrønden. Hvis faldstammerne er afblændede, vil forureningen kunne spredes til faldstammerne på grund af diffusion, og en svag diffus luftstrøm som det f.eks. er set ved røggasforsøgene på lukket faldstamme.

Målepunkt HV6 på faldstamme FS A5

For faldstamme FS A5 vil spredningen ske gennem samlebrønden. Når faldstammerne er afblændet, sker der kun en meget begrænset luftudveksling med atmosfæren i samlebrønden. Dette bevirker at koncentrationen i faldstammen er forholdsvis høj. Når faldstammen er udluftet vil der opstå et luftflow, hvor atmosfærisk luft strømmer ned i samlebrønden, og herfra videre ud i afløbssystemet til faldstammerne hvor luften på grund af bl.a. skorstenseffekt og vindpåvirkning af luftafkastene, ledes op gennem faldstammerne til luftafkastet over tag. Den

megen luft der trækkes ned gennem samlebrønden fortynder kloakluften og resulterer i lavere koncentrationer i faldstammen, som det ses for målepunkt HV6.



Figur 4-4. Konceptuel model for afløbssystemet for hovedbygningen på Ørstedsgade. På figuren er anført koncentrationerne af tetrachlorethylen (PCE) målt umiddelbart bag vandlåsen.

Målepunkt WC3, WC4 og WC6 på faldstamme FS A1/A6

Spredningen af forurening til faldstamme FS A1/A6 sker uden om samlebrønden. Når faldstammen er afblændet sker forureningsspredningen til faldstammen forholdsvis langsomt. Flow og trykmålingerne har indikeret, at der muligvis er utætheder i denne faldstamme, hvilket kan influere på og reducere forureningskoncentrationen. Når faldstammen udluftes, trækkes der kun i begrænset omfang luft fra samlebrønden. I stedet trækkes der forurennet luft tilbage fra hovedkloakken, hvorfor koncentrationerne i faldstammen ikke reduceres.

WC1

Forklaringsmodellen kan dog ikke forklare hvorfor koncentrationerne ved WC1 ikke følger koncentrationerne ved HV6, men snare følger koncentrationerne for faldstamme FS A1/A6. Det er efter databehandlingens afslutning blevet COWI bekendt, at afløbsstrækket fra WC1 under undersøgelsens gennemførelse har

været defekt, og at det er konstateret, at der er bortskyllet større mængder materialer under soklen ind til naboejendommen. Dette forhold kan muligvis tilskrives en del af forklaringen på, hvorfor det ikke ses, at koncentrationerne ved WC1 ikke følger koncentrationerne ved HV6.

Hypotese 2: Utætheder i FS A5

En anden forklaring på de målte koncentrationer er, at der kun sker en begrænset nedsivning af luft fra samlebrønden, og at den derfor kun har en begrænset påvirkning af koncentrationerne i kloakluften, dette vil kunne forklare resultaterne ved WC1. For faldstamme FS A1/A6 giver dette ingen ændringer i forhold til hypotese 1.

Hvis der er en utæthed i faldstamme FS A5, så kan dette forklare de målte koncentrationer bag HV6. Når faldstammerne er afblændet, sker der kun en meget begrænset luftudveksling med indeluften gennem utætheden, idet det samtidigt skal bemærkes, at faldstammen ikke er i brug. Den ringe luftindstrømning bevirker, at koncentrationen i faldstammen er forholdsvis høj. I perioder hvor faldstammen bliver udluftet, vil der opstå et luftflow og et undertryk i faldstammen, hvorved indeluft suges ind i faldstammen. Dette vil give reducerede luftkoncentrationer i faldstammen.

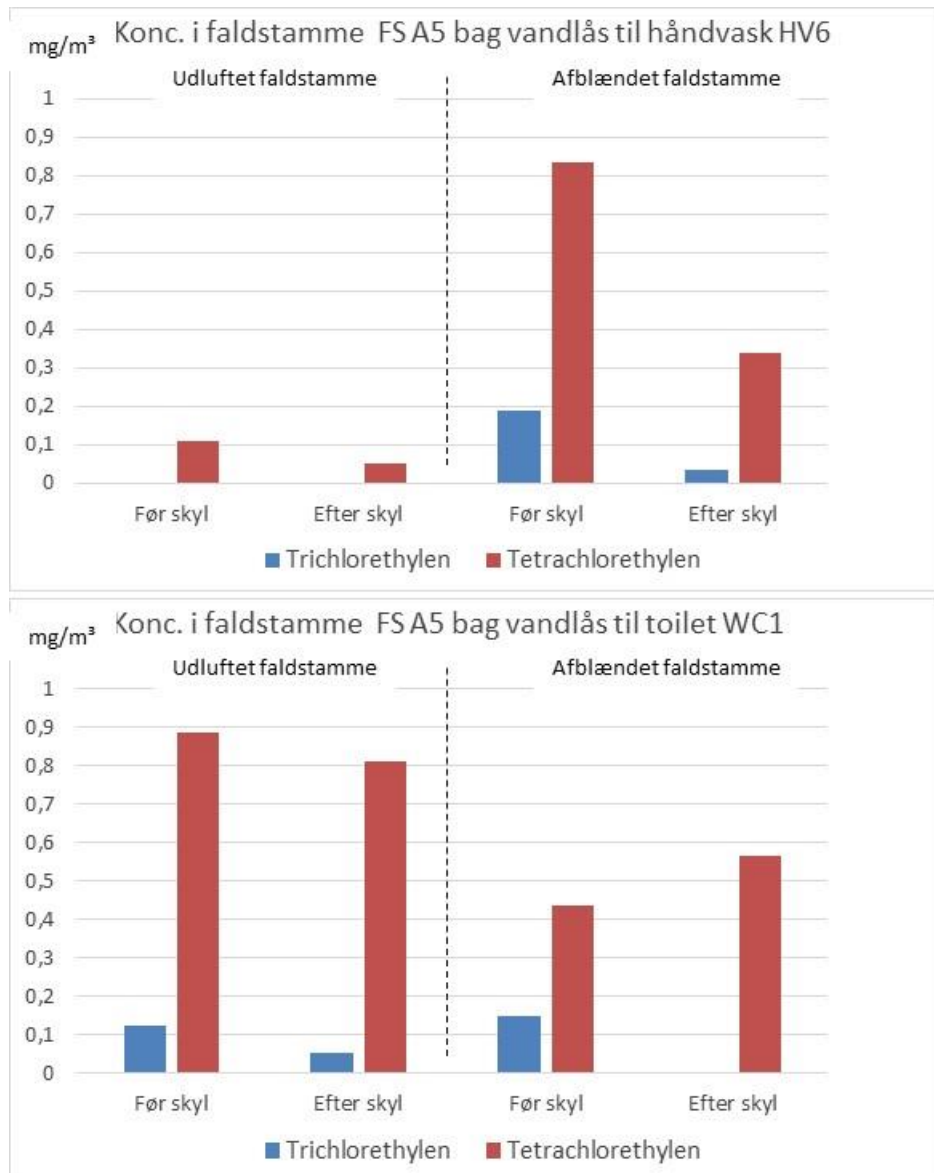
Svagheden ved hypotese 2 er, at det jf. hypotese 1 er forudsat, at der tilsvarende er utætheder i faldstamme FS A1/A6. Hvis utæthederne i FS A5 giver anledning til så store variationer i luftkoncentrationerne ved den udluftede faldstamme, så er det ikke dokumenteret hvorfor det ikke tilsvarende ses for FS A1/A6?

Sammenfattende

De to hypoteser giver begge et bud på en konceptuel forståelse for flowmekanikken i afløbssystemet. Ingen af de to hypoteser forklarer dog fuldstændigt de observerede forhold på lokaliteten.

4.4.2 Betydning af skyl og prøvetagning

Fra målinger af differenstræk vides det, at der kan forekomme meget store ændringer i trykket i faldstammen i forbindelse med skyld i vaske og toiletter. I forbindelse med målingerne bag vandlåsene, er det derfor undersøgt om skyllet tilsvarende har betydning for koncentrationerne i faldstammen.

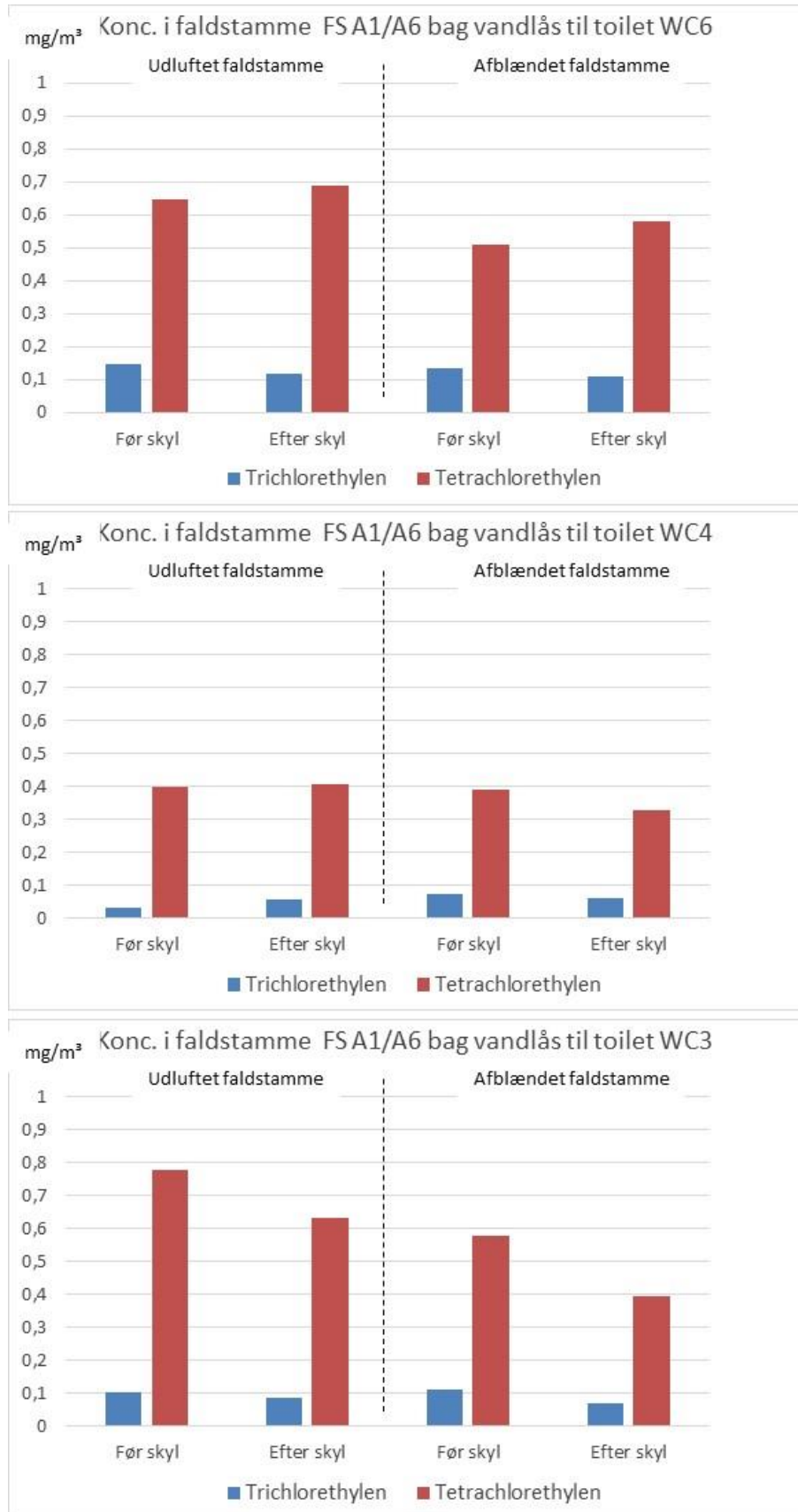


Figur 4-5. Eksempler på koncentrationsmålinger målinger bag vandlåse før og efter skyl.

I Figur 4-5 er givet eksempler fra målinger af luftkoncentrationen bag faldstammen før og efter skyl. For målepunktet HV6 ses det, at der er stor forskel på om målingen er før eller efter at der er foretaget skyl, koncentrationen er således ca. halvdelen efter skyl, dette gælder både i situationen hvor faldstammen er luftet og hvor faldstammen er afblandet.

For målepunktet bag WC1 er der forholdsvis lille forskel ved målingerne før og efter skyl. Ved målingen ved afblandet faldstamme er koncentrationen endda lidt højere efter skyllet end inden.

For de tre målepunkter i faldstamme A1/A6 – der også er foretaget bag vandlås i toiletter – er der forholdsvis små forskelle i koncentrationerne før og efter skyl. Bag WC3 er koncentrationerne lidt lavere efter skyl, bag WC4 er der samme koncentrationer før og efter skyl og bag WC6 er koncentrationerne lidt højere efter skyl.

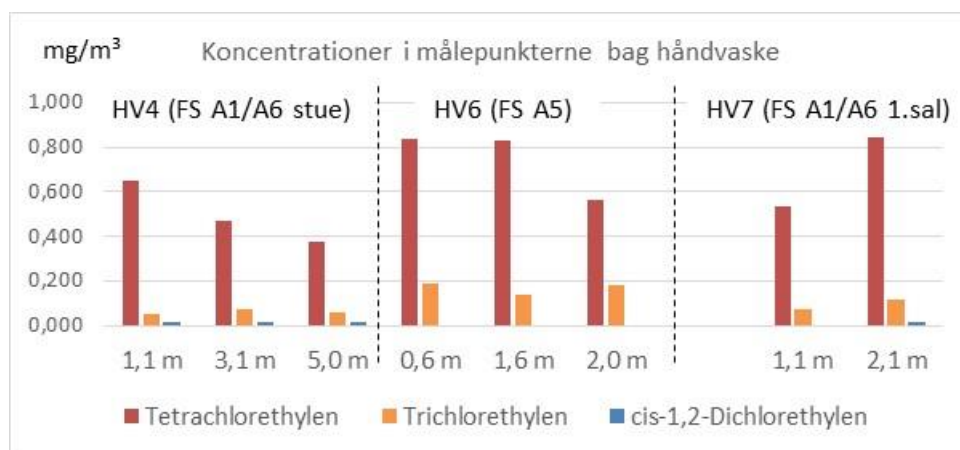


Figur 4-6 Eksempler på koncentrationsmålinger målinger bag vandlåse før og efter skyl for toiletter på FS A1/A6.

De største forskelle i koncentrationer før og efter skyl ses ved vasken HV6, mens der ved målingerne ved de fire toiletter ses væsentligt mindre forskelle. Data-grundlaget er ikke tilstrækkeligt til at kunne afgøre om den store forskel ved HV6 skyldes at der er skyllet ud gennem en vask, eller om der er nogle særlige forhold/utætheder ved faldstammen. Målingerne viser således ikke noget entydigt resultat, men viser at selve skyllet kan ændre på forholdene i faldstammen, og at der derfor bør noteres om der er foretaget udskylning forud for en prøvetagningen.

4.4.3 Betydning af målepunktets placering bag vandlås

Som nævnt var det oprindeligt idéen at der udover at foretage målinger umiddelbart bag vandlåsen, tilsvarende skulle foretages målinger hvor prøvetagningslangen skulle føres videre ud bag vandlåsen. Dette viste sig dog praktisk mere vanskeligt end forudsat. I stedet er der inden prøvetagningen forpumpet med en pumpeydelse på ca. 5 l/min. Ved at antage at luften strømmer laminart i røret, kan den oppumpede luftmængde omsættes til en beregnet afstand i røret.

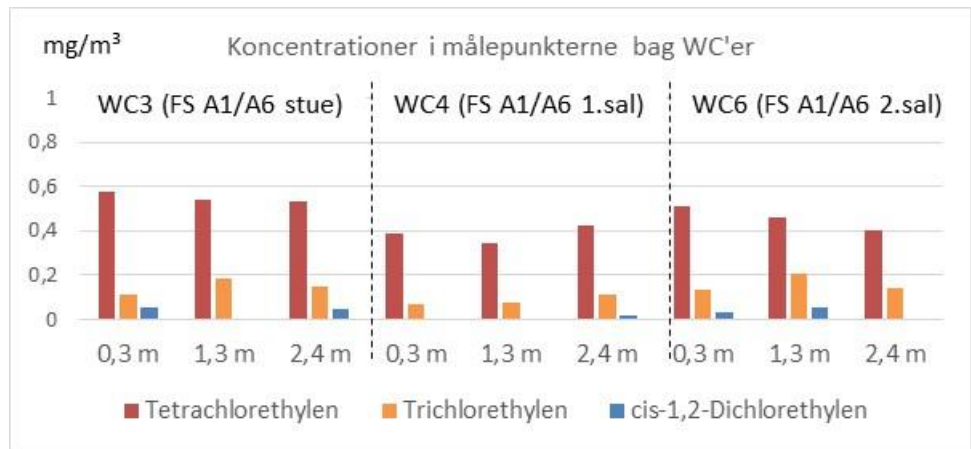


Figur 4-7. Koncentrationerne bag vandlåsene til tre vaske. Målingerne for HV4 og HV7 er foretaget mens faldstammen var udluftet, mens HV6 er foretaget med afblændet faldstamme.

Som det fremgår af Figur 4-7 er der ikke nogen entydig tendens i koncentrationens udviklingen bag vandlåsene til de tre vaske. For HV4 og til dels HV7 ses en faldende tendens med afstanden til vandlåsen, mens det for HV7 ses en klart stigende tendens.

For målingerne bag wc'erne ses forholdsvis konstante koncentrationer, muligvis med en svagt faldende koncentration med stigende afstand bag WC6, jf. Figur 4-8. Målingerne i Figur 4-8 er alle foretaget i forhold til den samme faldstamme. Det er ikke overraskende at koncentrationerne ved WC4 på førstesal er lavere end koncentrationerne bag WC3 i stueetagen, men det er overraskende at de er lavere end bag WC6 på 2. sal. En mulig forklaring kan være, at WC4 er tilsluttet faldstammen på en sideafgrening til faldstammen. Hvis der er en utæthed i et eller flere steder i denne sideafgrening ville indeluft kunne trænge ind i rørene og resultere i lavere koncentrationer i luften i rørene. I kapitel 3.3.1 er det lige-

ledes beskrevet, at resultatet af differenstrøkmålingerne indikerer at der er utætheder i et eller flere steder i faldstammen på 1. sal.



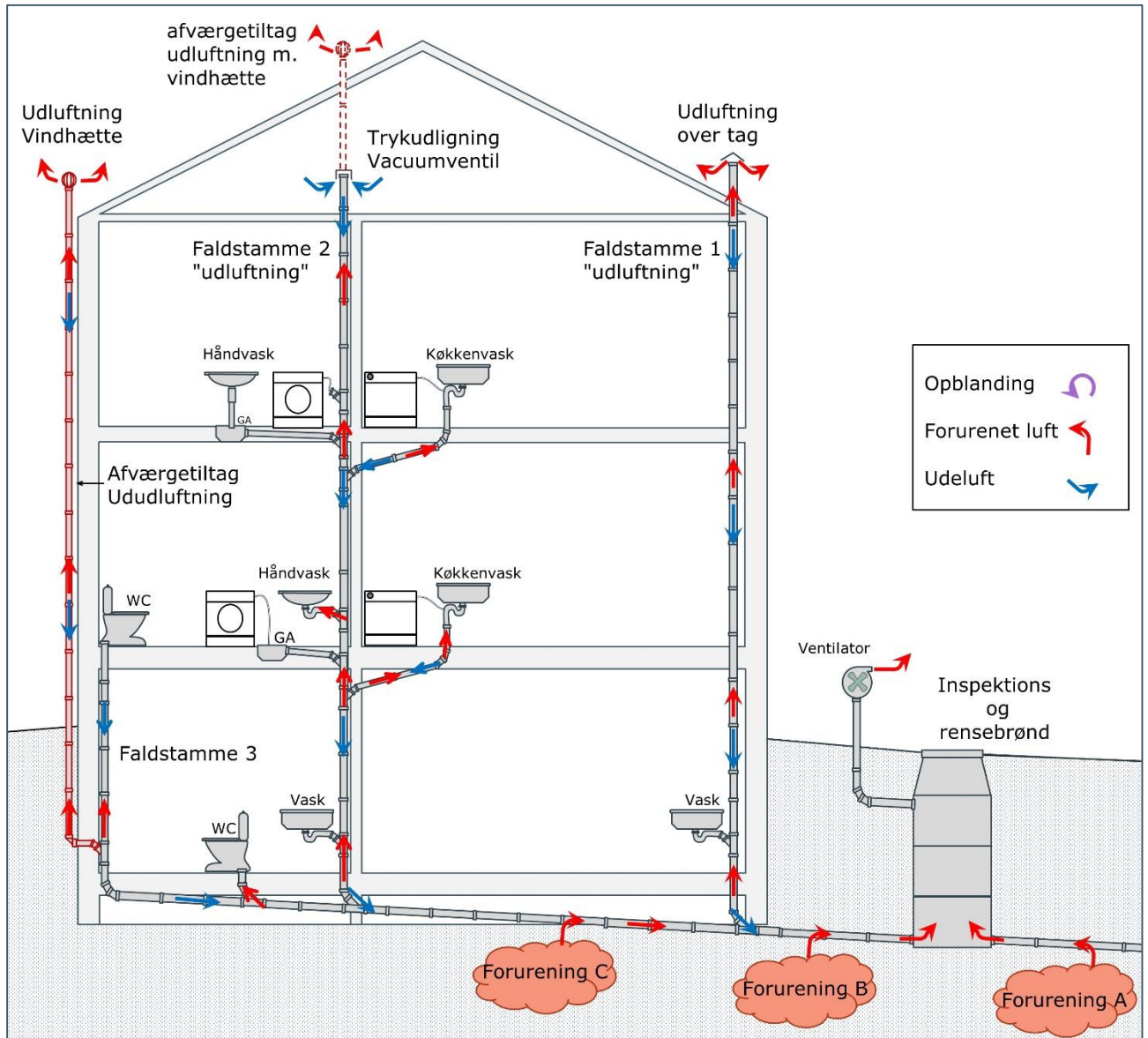
Figur 4-8. Koncentrationerne i faldstammen bag vandlåsene til tre toiletter. Alle målinger er foretaget mens udluftningen af faldstammen var afblændet.

5 Projekt A4 – alternativ ventilation af afløbssystem

5.1 Udfordring/formål

En teori kan være, at man ved traditionel ventilering af kloaker og faldstammer over tag (som f.eks. illustreret i Figur 1-1 på side 7), risikerer at skabe en større spredning af forurening ind i bygningens faldstammer, idet der etableres en luftstrøm fra den nærmeste gennemløbsbrønd og ind i bygningens faldstamme, som trækker forureningen med ind i bygningen. Som beskrevet i forrige afsnit, ses der i mange af målepunkterne højere koncentrationer når faldstammen er udluftet end når luftafkastet fra faldstammen tilsvarende er afblændet.

På denne baggrund er der i projekt A4 gennemført et ventilationsforsøg, hvor luftstrømmen igennem faldstammen forsøges vendt ved, at ændre luftindtaget til samlebrønden til et luftafkast. Dette gøres ved at etablere et sug på luftafkastet til gennemløbsbrønden. Af Figur 5-1 ses en konceptuel beskrivelse af luftflow i afløbssystemet, hvis der placeres en ventilator på luftafkast fra samlebrønd.



Figur 5-1. Konceptuel beskrivelse af luftflow i afløbssystemet hvis der placeres en ventilator på luftafkast fra samlebrønd.

5.2 Gennemførte undersøgelser

Forsøget er gennemført ved at montere en ventilator med regulerbar ydelse i forlængelse af luftindtaget til samlebrønden. Billede af den monterede ventilator, fremgår af Figur 5-2.

Ved forskellige ventilationsydelse, er der samtidig gennemført røgforsøg på faldstamme FS6 og FS7 på tilsvarende måde som beskrevet i kapitel 3.3, for på denne måde at undersøge, om luftstrømmen i faldstammerne var under ventilationsforsøget udluftede via vindhætterne.

Under ventilationsforsøget, er der yderligere logget forureningskoncentrationer i faldstamme FS A7 hvert 10. minut ved hjælp af en FROG 4000 (fra den 29. juni 2017 kl. 7:21 og frem til den 3. juli 2017, foreligger der data ca. 1 gang pr.

time). FROG'en er monteret ca. 0,6 m over gulv på faldstammen og data er bearbejdet af Rambøll som sideløbende har gennemført et projekt på lokaliteten. COWI har således anvendt de fremkomne data i forbindelse med evalueringen af det gennemførte ventilationsforsøg.



Figur 5-2. *Montering af ventilator på luftindtag L3 til samlebrønd BR1.*

Ventilationsforsøget er gennemført den 30. juni 2017 med efterfølgende permanent ventilering frem til den 12. juli 2017.

Inden gennemførelse af ventilationsforsøget, er brønddækslet til BR1 tætnet med en 4 mm stålplade med gummipakning i lagt i brøndkarmen under brønddækslet som vist i Figur 5-3.



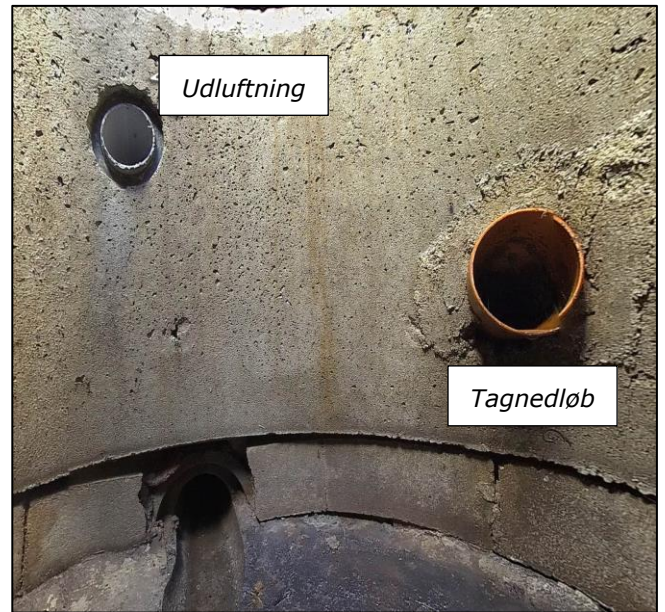
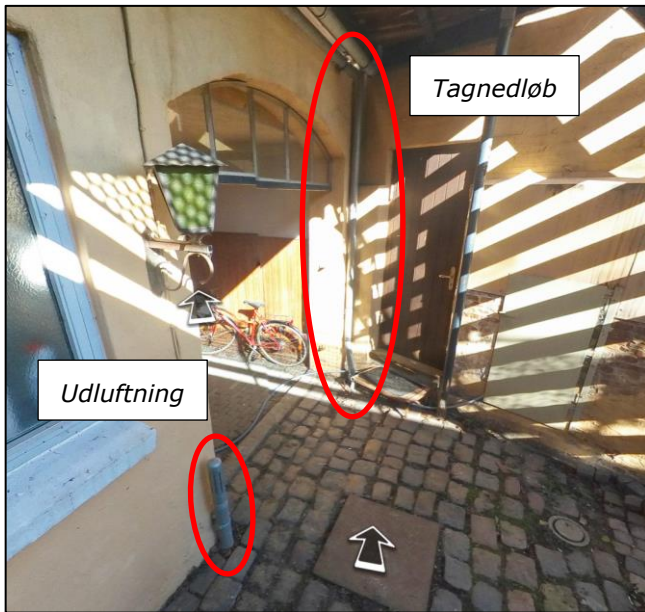
Figur 5-3. Tætning af brønddæksel i forbindelse med gennemførelse af ventilationsforsøg.

5.3 Resultater

I forbindelse med databehandlingen og afrapporteringen af forsøget, er det konstateret, at samlebrønden BR1 i princippet er beluftet/udluftet både af det etablerede luftindtag L3 og af et næved liggende tagnedløb til hovedbygningen, som har tilløb til brønden. Tilsvarende er der tilløb fra nedløbsrør til sidebygningen, som ledes til BR1 via afgrening på rørstrækket fra FS A7 til BR1. Fotos og skitse-ning af forholdene fremgår nedenfor af Figur 5-4-Figur 5-6. I en tagnedløbsbrønd til et ikke separeret afløbssystem (både regn- og spildevand i samme system), er der ofte indbygget en vandlås i forbindelse med sandfangs bunden i brønden, hvilket betyder, at afløbet ikke vil kunne blive udluftet via tagnedløbet. Ifølge tv-inspektionen fra 2011 /3/ er der dog for begge tilslutninger af nedløbsrør ikke tale om en tagnedløbsbrønd med vandlås, men nærmere en nedløbsbrønd der fungerer som en tør ledning med direkte kontakt til samlebrønden BR1.

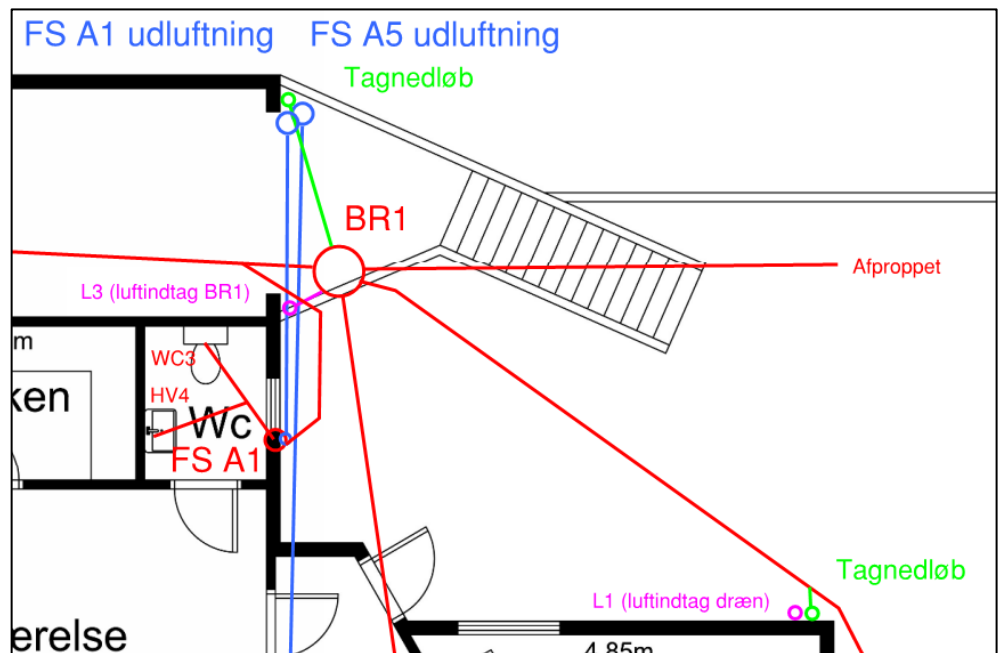
Dette har forventeligt betydet, at det oprindelig etablerede luftindtag L3 sandsynligvis ikke har haft den store effekt, da brønden BR1 i forvejen har kunnet få tilført alt det "nødvendige" luft via tilløbet fra tagrenderne og nedløbsrørene, som der har været "brug for". Dette betyder tilsvarende, at der i forbindelse med den aktive ventilering af brønden via luftindtag L3, samtidig har været rig mulighed for at trække "falsk"-ren udeluft via tagrenderne, hvilket forventeligt har nedsat effekten og påvirkningen af luftstrømmene i faldstammerne i forbindelse med ventilationsforsøgene. Da trykfaldet i en rørstrækning er proportional med luftens hastighed i anden potens, så stiger tryktabet og modstanden væsentligt jo mere luft der skal trækkes gennem røret. Ved den givne ventilation er der målt et undertryk i samlebrønden på ca. 7 Pa, som maksimalt forventes at

kunne give anledning til et flow i nedløbsrøret på mellem 15-20 m³/time, hvilket giver i størrelsesordenen 35 m³/h der skal hentes fra faldstammerne.



Figur 5-4. Udluftninger af BR1.

Figur 5-5. Tilslutninger af udluftninger i BR1.



Figur 5-6. Skitsering af rørforløb til samlebrønd BR1 med bl.a. direkte kontakt til tagnedløb fra hovedbygning på ejendommen og fra sidebygningen (grønne rørforløb).

5.3.1 Forsøg med røg

Forsøgene med røg er udført midt på faldstammerne FS A6 og FS A7. Forsøgene er dokumenteret med videosekvenser af røgens bevægelse i hul 2 og hul 3 (til-

svarende beskrivelsen i afsnit 3.3.3). I Tabel 5.1 er forsøgt givet en kort beskrivelse af resultatet af forsøgene.

Tabel 5.1. Oversigt "røgforsøg" under ventilering af brønd BR1.

Ydelse	Modtryk, sugepunkt	Tid	FS A6, røgobservation	FS A7, røgobservation
25 m ³ /h	- 7 Pa	10:06	Tydelig opadrettet flowretning.	Ligevægt mellem opad og nedadrettet flowretning. Ingen klar indikering af flowretning.
50 m ³ /h	- 34 Pa	9:43	Nedadrettet flowretning.	Svag nedadrettet flowretning.
100 m ³ /h	- 126 Pa	9:54	Kraftig nedadrettet flowretning.	Kraftig nedadrettet flowretning.
50 m ³ /h	- 28 Pa	30/6-12/7	Permanent fastholdt sug med kontinuert FROG-logning	

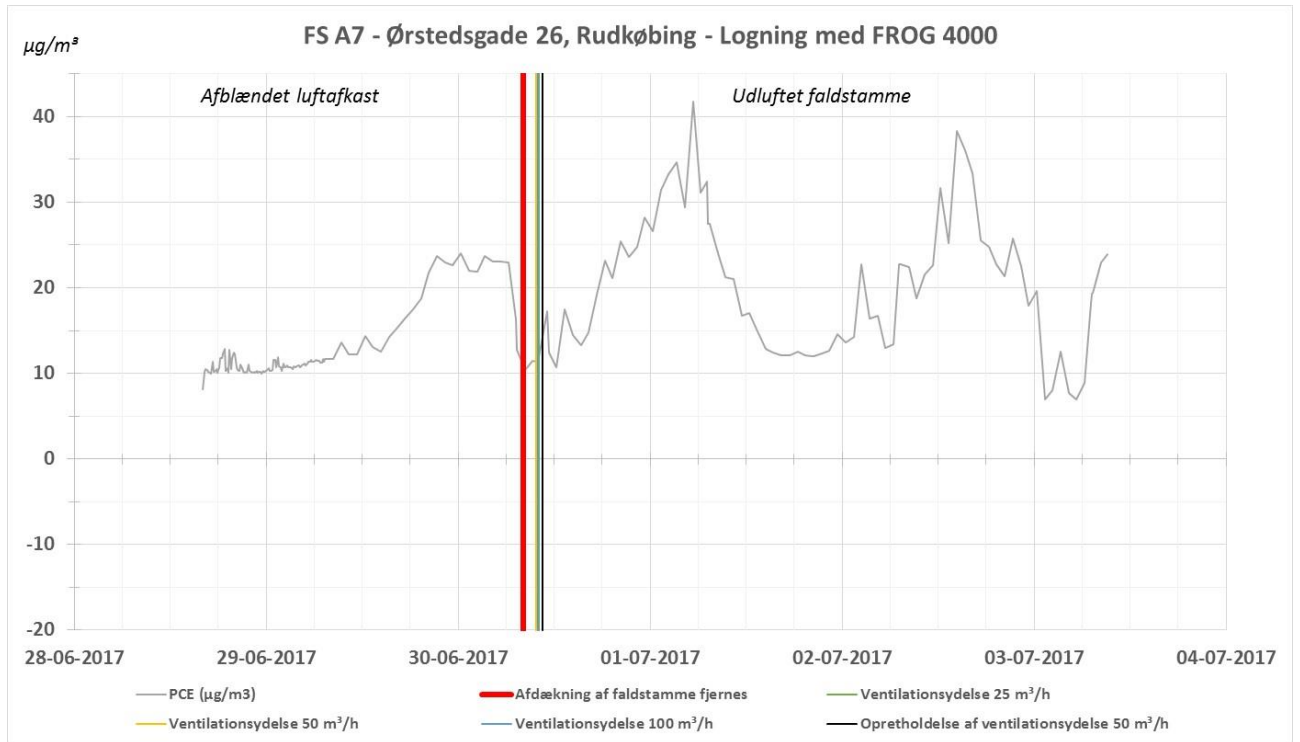
Filmsekvenserne kan rekvireres ved henvendelse til Region Syddanmark.

Det ses af røgforsøgene, at der ved en ventilationsydelse på 25 m³/h ikke er nedrettet flowretning i hverken faldstamme FS A6 eller FS A7. Ved en ydelse på 50 m³/h ses der nedadrettet flowretning i FS A6 og en svag nedadrettet flowretning i FS A7. Først ved en ydelse på 100 m³/h ses der kraftig nedadrettet flowretning i begge faldstammer.

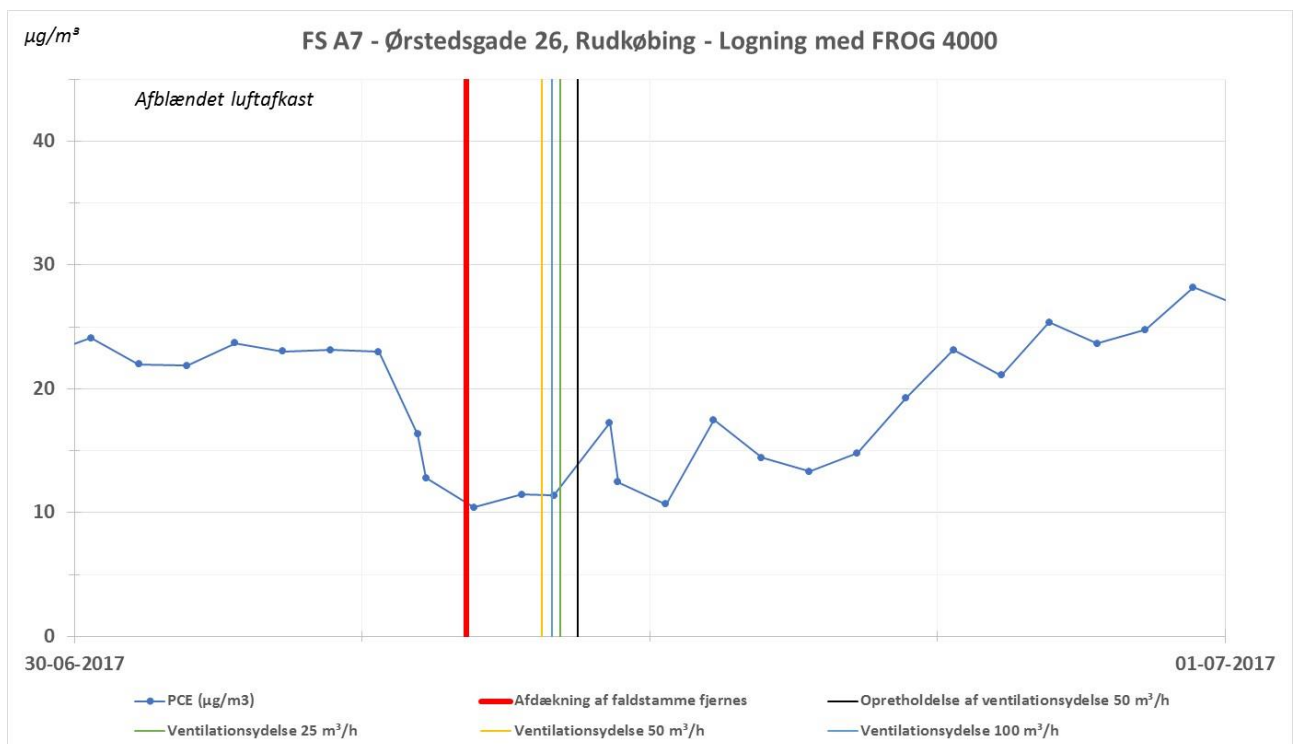
5.3.2 Logning med FROG

Med baggrund i resultater af røgforsøgene, blev det valgt at opretholde en konstant ventilationsydelse på 50 m³/h via luftindtaget L3, samtidig med, at der blev foretaget logning af forureningskoncentrationer i FS A7 over en periode på ca. 5 døgn. Af graferne i Figur 5-7 og Figur 5-8 ses hhv. den generelle udvikling af PCE-koncentrationer over tid i FS A7, samt et zoom i forhold til perioden for det gennemførte ventilationsforsøg.

I perioden mellem at afkastet er afblændet og afkastet igen er frit åbent, ses der en støt stigende koncentrationsudvikling i faldstammen fra et indhold på ca. 10 µg/m³ til ca. 20 µg/m³. I timerne op til at afkastet igen åbnes, ses der mere end en halvering af koncentrationerne til et niveau på ca. 10 µg/m³. Fra perioden efter gennemførelse af ventilationsforsøget og fastholdelse af ventilationsydelsen på 50 m³/h via brønd BR1, ses der stigende og faldende indhold med særligt to store peaks omkring først på natten den 1. juli 2017 og igen om eftermiddagen den 2. juli 2017. Der optræder således koncentrationer i faldstammen på mellem ca. 10 og ca. 40 µg/m³ PCE inden for et døgn, selvom det indledende røgforsøg i faldstammen gav anledning til en svag nedadrettet flowretning i faldstammen.



Figur 5-7. Logning af PCE koncentrationer i FS A7.



Figur 5-8. Logning af PCE koncentrationer i FS A7 – zoom ved ventilationsforsøg.

5.4 Del konklusioner projekt A4

5.4.1 Resultater af røgtest

Forsøgene med røgtest har vist, at røgtest er en billig og effektiv måde at visualisere flowdynamik i rørledninger og faldstammen. Metoden giver et godt grundlag for at vurdere forskellige situationer, som i dette tilfælde effekten af forskellige ventilationsflow.

Ulempen ved metoden er, at der er tale om en punktmåling, både i forhold til tid og i forhold til hvilken del af systemet der undersøges. Ved at ændre på testbetingelserne kan testen tilsvarende anvendes til lækagesøgning, og vil dermed kunne anvendes til at belyse nogle af de usikkerheder, der er ved tolkningen af de øvrige opnåede resultater – særligt måling og logning af trykdata.

En anden ulempe ved metoden, som den er anvendt i nærværende forsøg, er at metoden er destruktiv. Det er nødvendigt at lave huller i faldstammen, som normalt efterfølgende vil skulle udbedres. Hullerne kan dels bevirke at faldstammen ikke kan anvendes normalt indtil faldstammen er udbedret, dels introducere risiko for utætheder i faldstammen, som kan påvirke flowdynamikken i faldstammen og dermed eventuel forureningsspredning.

5.4.2 Resultater af målinger med FROG

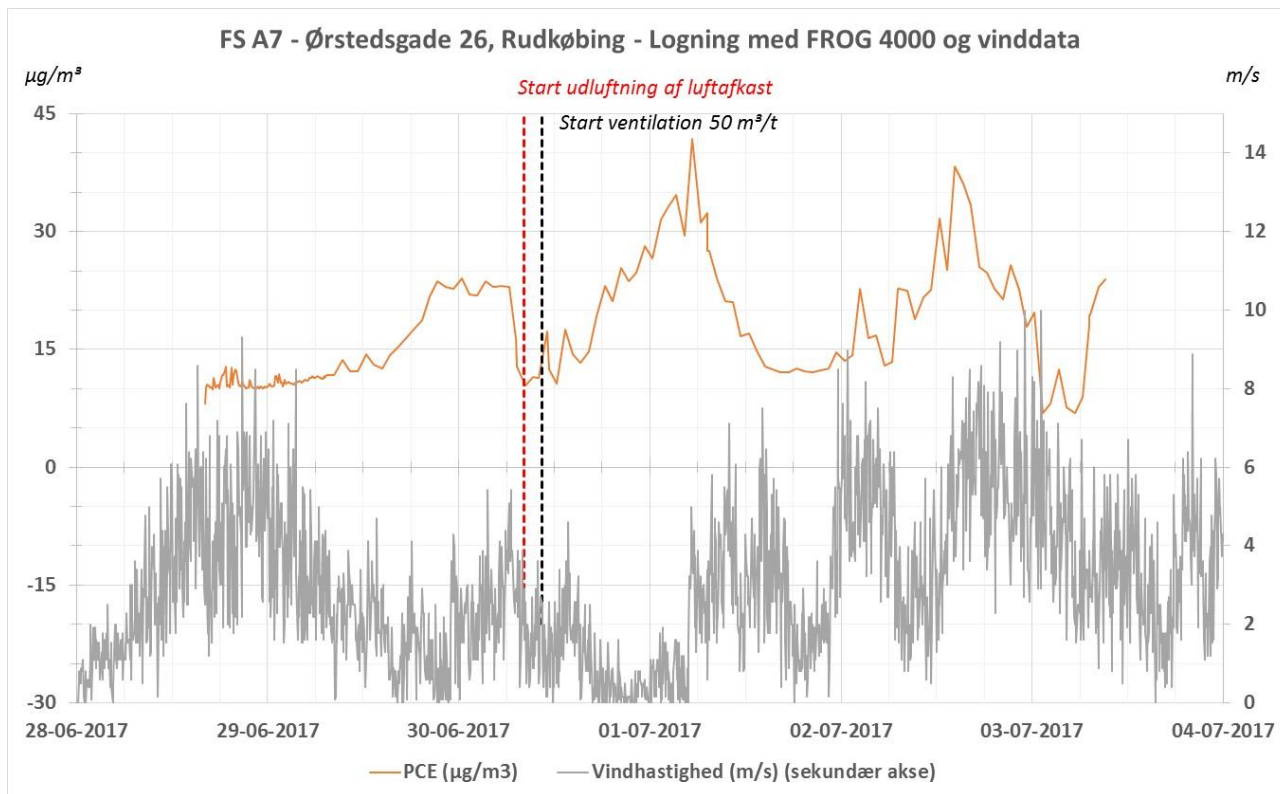
Det var oprindeligt forventningen at ventilationen i brønden ville få koncentrationerne i faldstammen til at falde til baggrundsniveau. Som det kan ses af Figur 5-7, så kan det ses, at koncentrationerne i to perioder stiger fra et baggrundsniveau på ca. 10 $\mu\text{g PCE}/\text{m}^3$ til ca. 35-45 $\mu\text{g PCE}/\text{m}^3$.

Umiddelbart kan dette tolkes som om, at ventilationen i samlebrønden i perioder ikke er tilstrækkelig til at vende flowet i faldstammen, og at der i disse perioder derfor siver forurenede kloakluft op gennem faldstammen. Fra de tidligere målinger af flow og modtryk i faldstammerne vides det, at flowet i faldstammerne er påvirket af vindhastigheden, således at der i perioder med kraftig vind vil være større flow i faldstammerne end i perioder med svag vind.

I Figur 5-9 er optegnet udviklingen i PCE-koncentrationen i faldstammen sammen med vindhastigheden. Det ses, at der er en god korrelation mellem vindhastigheden og koncentrationerne i faldstammen, dog en smule forskudt. Forskydningen kan skyldes, at det anvendte måleudstyr (FROG og vejrstation) ikke er synkroniseret, men skyldes nok nærmere, at der er en forsinkelse i systemet, således at der går et stykke tid fra at vejrforholdene ændres til det kan ses på koncentrationerne i faldstammen.

Af Figur 5-9 fremgår det, at forholdet mellem vindhastighed og koncentration i faldstammen tilsyneladende er modsat af den indledningsvise forventning. De højeste koncentrationer forekommer i perioder med lave vindhastigheder. Variationerne kan derfor ikke tilskrives, at suget fra ventilatoren ikke er tilstrækkeligt til at sikre et flow mod samlebrønden, men i stedet at der kan være andre kilder

til de PCE koncentrationer der måles i faldstammen, f.eks. indsvivning af forurennet rumluft eller påvirkning med poreluft. Fra tidligere indeluftmålinger vides det, at der i visse dele af bygningen, bl.a. toiletterne, er målt høje indeluft koncentrationer (ca. 100-600 µg/), mens der i andre dele er målt koncentrationer på niveau med de koncentrationer der senest er målt i faldstammen.

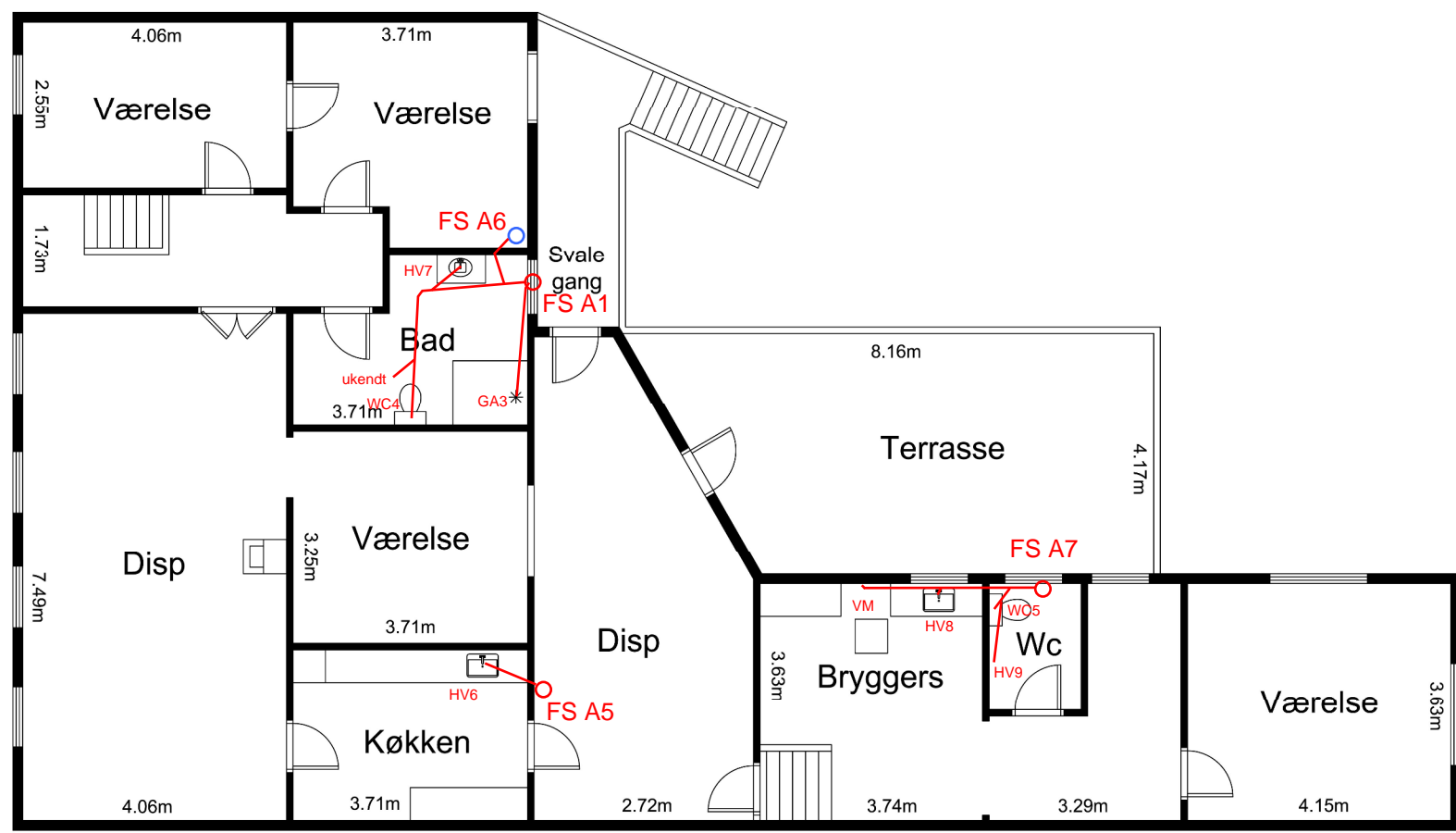


Figur 5-9. Logning af PCE koncentrationer i FS A7 sammenholdt med vindhastigheden.

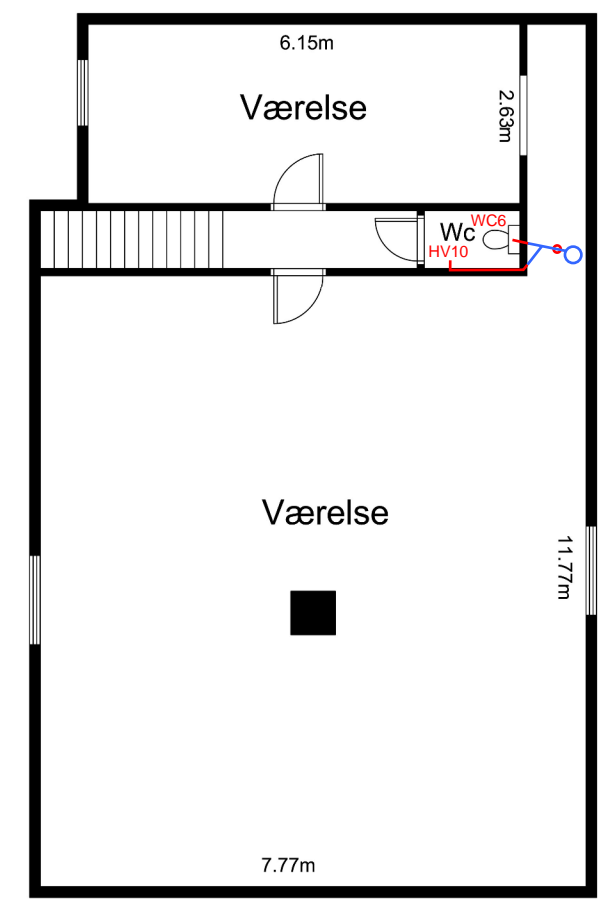
6 Referencer

- /1/ Spredningsveje via afløbsinstallationer. Udviklingsprojekt. UDKAST til rapport, 2. oktober 2017. COWI for Region Syddanmark.
- /2/ SBI-anvisning 257. Afløbsinstallationer – Installationsgenstande og udførelse. 1. udgave 2015.
- /3/ Supplerende undersøgelse af forurening med klorerede opløsningsmidler efter renseriaktiviteter. Ørstedgade 24, 26 og 28, 5900 Rudkøbing. Lokalisationsnummer: 475-00014. Oktober 2011. Region Syddanmark

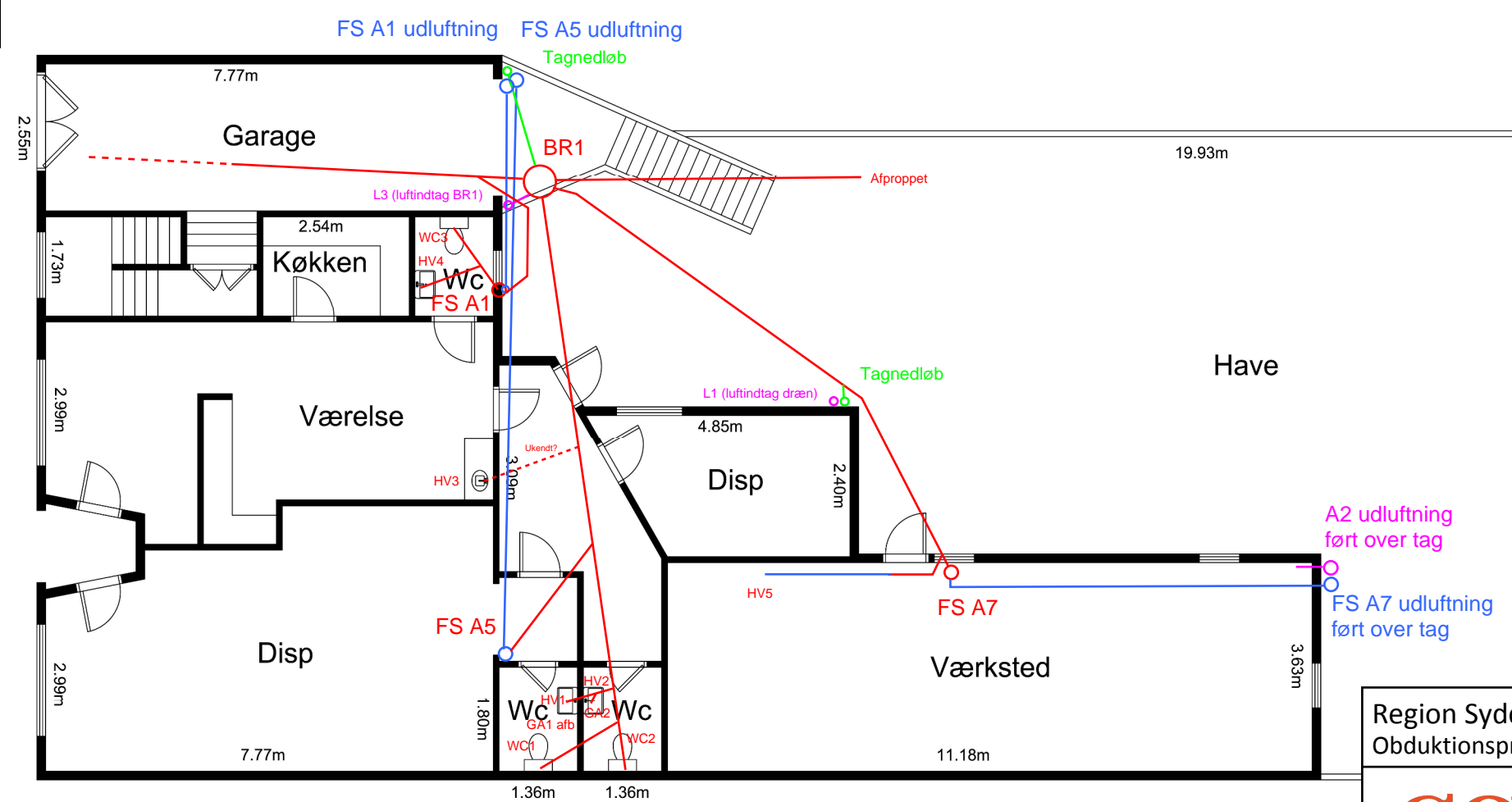
Bilag A Situationsplan



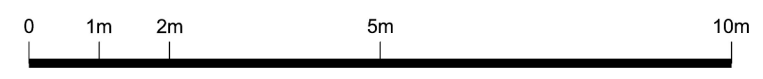
1 Sal



2 Sal

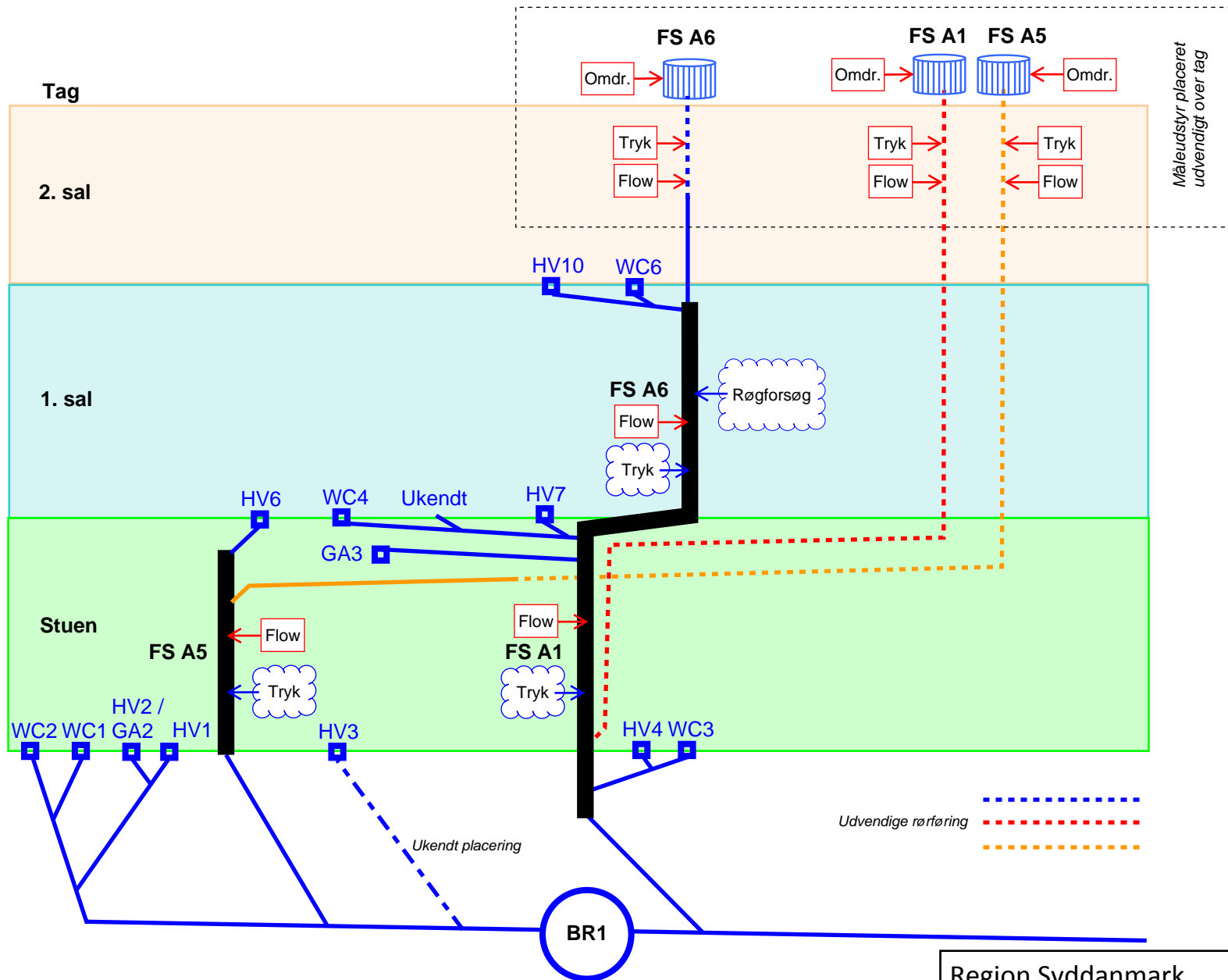


Stueplan



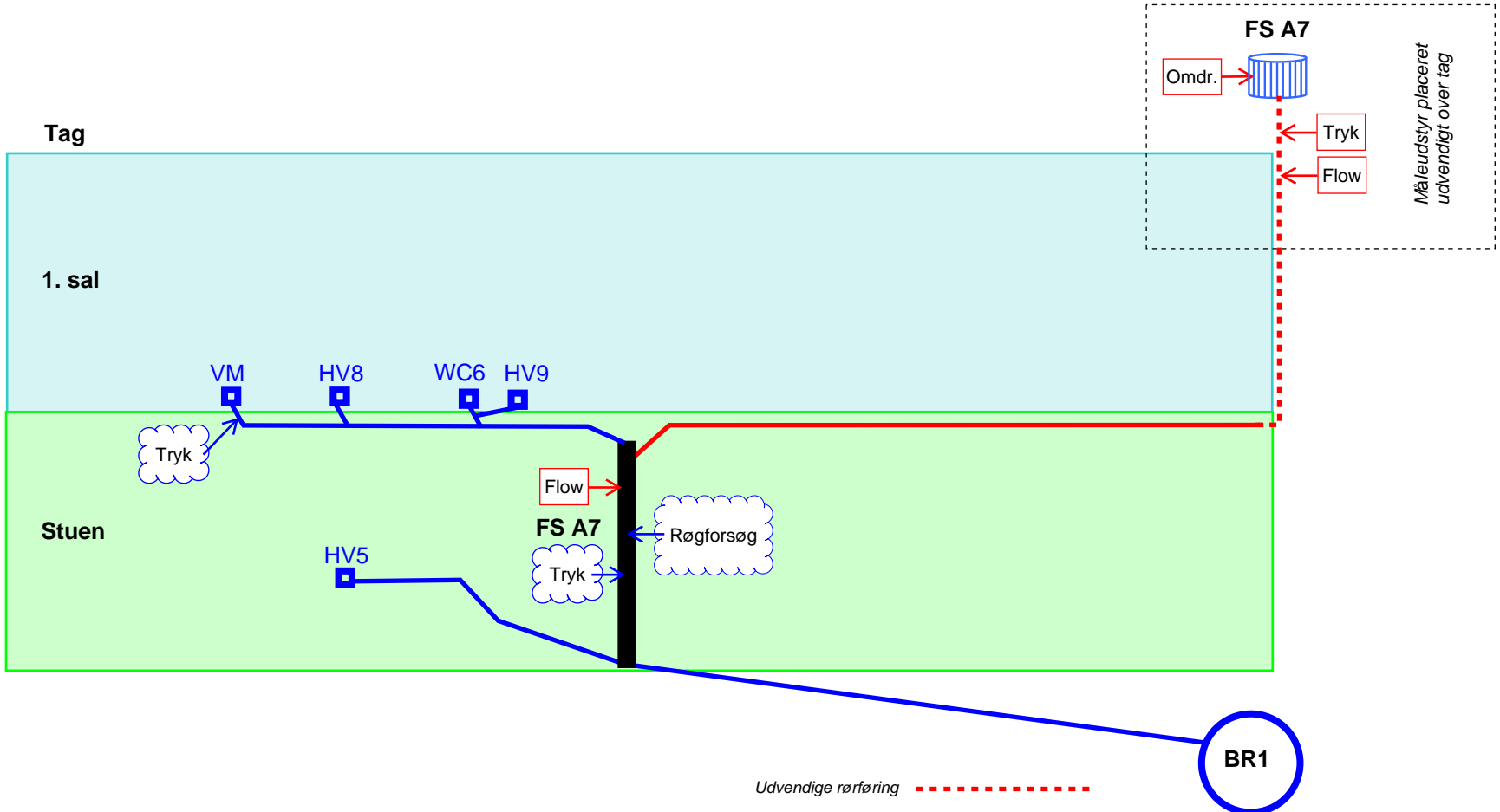
Region Syddanmark				
Obduktionsprojektet Ørstedsgade 26, Rudkøbing				
COWI			Bilag A Situationsplan	
Udarb:	Kontr:	Godk:	Dato:	Dokument nr.:
BJNE	TVB	BJNE	11-10-2017	A093365 A3
Rev:				0

Bilag B Opstalt, faldstamme A1/A6 og A5



Region Syddanmark Obduktionsprojektet Ørstedsgade 26, Rudkøbing					
			Bilag B		
			Opstalt faldstamme A1/A6, A5		
Udarb:	Kontr:	Godk:	Dato:	Dokument nr.:	Rev:
BJNE	TVB	BJNE	11-10-2017	A093365 A3	0

Bilag C Opstalt, faldstamme A7



Region Syddanmark Obduktionsprojektet Ørstedsgade 26, Rudkøbing					
COWI			Bilag C Opstalt faldstamme A7		
			Udarb: BJNE	Kontr: TVB	Godk: BJNE