



Høgskulen
på Vestlandet

B022EB-30

Naturlig ventilering av kulturarenaer

Markus Eliassen Sørli
Torodd Bryne Rykkje

28. mai. 2022

Markus Eliassen Sørli

Torodd Bryne Rykkje

Dokumentkontroll

<i>Rapportens tittel:</i> BO22EB-30 Naturlig ventilering av kulturarenaer	<i>Dato/Versjon</i> 28. mai. 2022/1.0
	<i>Rapportnummer:</i> BO22EB-30
<i>Forfatter(e):</i> Markus Eliassen Sørli Torodd Bryne Rykkje	<i>Studieretning:</i> AUTB19
	<i>Antall sider m/vedlegg</i> 51
<i>Høgskolens veileder:</i> Kjell Eivind Føysa	<i>Gradering:</i> Åpen
<i>Eventuelle Merknader:</i> Vi tillater at oppgaven kan publiseres.	

<i>Oppdragsgiver:</i> Energima AS	<i>Oppdragsgivers referanse:</i> Nils Andreas Lønningdal
<i>Oppdragsgivers kontaktperson(er) (inkludert kontaktinformasjon):</i> Nils Andreas Lønningdal nils@energima.no 908 26 100	

Revisjon	Dato	Status	Utført av
1.0	04.02.2022	Forstudie	Torodd og Markus
1.1	22.05.2022	Sendt til gjennomlesning av ekstern veileder	Torodd og Markus
1.2	28.05.2022	Innlevering av oppgave	Torodd og Markus

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet for Energima AS og Telenor Arena. Ideen bak oppgaven er å forbedre inneklimate i Telenor Arena. Oppgaven inkluderer kunnskap fra fag som måleteknikk, fysikk, instrumentering og programmering. Vi har i tillegg lært mye ventilasjonsteknikk i løpet av dette prosjektet. Oppgaven er skrevet ved Høgskulen på Vestlandet, campus Bergen. Arbeidet med oppgaven har pågått fra januar 2022 til juni 2022. Gruppen bestod av Markus Eliassen Sørli og Torodd Bryne Rykkje.

Vi ønsker å takke veileder Kjell Eivind Frøysa fra HVL Bergen for veiledning gjennom prosjektet, og hjelp med rapportskrivning.

Vi vil også takke Energima AS for å ha gitt oss muligheten til å arbeide med denne oppgaven, og spesielt Nils Andreas Lønningdal som har veiledet oss og lært oss mye om ventilasjonsteknikk og bruk av sensorer.

En takk rettes også til Newsec og personale på Telenor Arena for å ha vist tillit og gitt oss tilgang til å utføre tester og målinger i arenaen.

Sammendrag

Bacheloroppgaven går ut på å måle og kartlegge inneklimate og luftstrømninger inne på Telenor Arena. Disse dataene ble videre brukt for å få en bredere forståelse av hvordan man effektivt kan lufte i arenaen ved bruk av spjeld og røykluker. Denne kunnskapen ble så anvendt til å utvikle en driftsplan for gunstig drift av eksisterende ventilasjonsløsning.

Oppgaven består av flere måle og instrumenteringsdeler. Det ble utført analyse av data fra forskjellige sensorer, og disse dataene ble brukt til utregning av luftutskifting under testing. Ventilasjonsteori ble tatt i bruk for å beregne potensiale for luftutskifting i arenaen ved forskjellige konfigurasjoner av inntaksluft og utluft.

Målingene er gjort med forskjellige sensorer av typene Airthings, Kimo og Windlogger. Disse gir alle forskjellige typer data, og det er lagd Python-script for å prosessere måledata til leselige Excel-ark. Fra disse er det fremstilt grafer for å lett visualisere data som er hentet ut. Dette gir en god oversikt over tilstanden på klimaet inne.

I løpet av prosjektet ble det arrangert en konsert på arenaen, hvor det ble utført målinger. Data som ble hentet ut fra sensorer i dette tidspunktet har blitt brukt som datagrunnlag for analysen bak konklusjon og driftsplan. Denne driftsplanen gir en bruksanvisning for gode rutiner på lufting. Det er også tatt for seg svakhetene ved denne typen ventilasjon, og det er gitt anbefalinger til hvilke utbedringer som kan gjøres.

Resultatene består av driftsplanen, samt anbefalingene om utbedringer. Funnene gir en god mulighet til å kunne skape et godt inneklimate inne i arenaen under forskjellige værforhold og på ulike årstider.

Innholdsfortegnelse

Dokumentkontroll	1
Forord	2
Sammendrag	3
1 Innledning.....	7
1.1 Oppdragsgiver	7
1.2 Problemstilling.....	7
1.3 Hovedidé for løsningsforslag	8
2 Kravspesifikasjon	9
3 Analyse av problemet.....	10
3.1 Utforming av løsninger for Måling	11
3.1.1 Vurderinger i forhold til plassering av sensorer	11
3.1.2 Valg av sensorer	11
3.2 Utforming av løsninger for lagring av data.....	13
3.2.1 Vurderinger i forhold til verktøy og HW/SW komponenter	13
3.3 Utforming av løsninger for Driftsplan	13
3.3.1 Vurderinger i forhold til verktøy og HW/SW komponenter	13
3.4 Konklusjon	13
4 Planlegging og Montering av sensorer.....	14
4.1 Befaring Telenor Arena	14
4.1.1 Erfaringer fra driftsansvarlige.....	14
4.1.2 Bilder fra befaring.....	15
4.2 Sensorplassering.....	16
4.2.1 Luftsørmssensorer.....	17
4.2.2 Trykksensorer	17
4.2.3 Klimasensorer	17
4.3 Montering av sensorer	18
4.3.1 Luftsørmssensorer.....	18
4.3.2 Trykksensorer	19
4.3.3 Klimasensorer	19
5 Utførelse av tester.....	20
5.1 Testplan	20
5.2 Test 1 – Spjeld.....	20
5.3 Test 2 – Røykluke.....	21

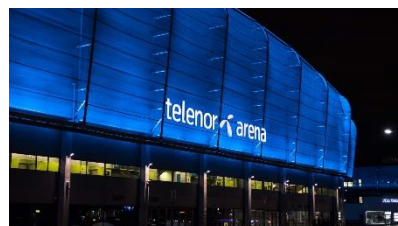
5.4	Test 3 – Arrangement.....	21
6	Analyse av resultater	21
6.1	Problemer under Testing.....	21
6.2	Måleresultater.....	22
6.2.1	Test 1 – Spjeld.....	22
6.2.2	Test 2 - Røykluke	24
6.2.3	Test 3 - Arrangement.....	26
6.3	Analyse av røyk med GoPro	30
6.4	Analyse av konsertmålinger	31
6.4.1	Grunnlag for målinger	31
6.4.2	Problemer før konsert	31
6.4.3	Måleresultater	32
6.4.4	Konklusjoner fra konsertmålingene	34
6.5	Beregninger av potensielle luftmengder.....	35
6.5.1	Sommer-scenario	36
6.5.2	Vinter-scenario	36
6.5.3	Beregnete luftmengder under Test 3 - Arrangement.....	36
6.5.4	Beregnete luftmengder under konsert med Hans Zimmer	37
6.5.5	Beregnete luftmengder ved optimal konfigurasjon	37
6.5.6	Konklusjoner av beregninger.....	37
6.6	Sammenligning av CDF – analyse og Test-analyse	38
6.6.1	Bilder fra CFD – analysen.....	38
6.6.2	Konklusjoner fra CFD – analysen.....	40
6.6.3	Forskjeller mellom beregnet og målt luftkvalitet.....	40
7	Driftsplan	41
7.1	Sommerplan	41
7.1.1	Lufting før arrangement	41
7.1.2	Lufting under arrangement	41
7.1.3	Viktigste punkter	41
7.2	Vinterplan	41
7.2.1	Lufting før arrangement	41
7.2.2	Lufting under arrangement	42
7.2.3	Viktigste punkter	42
8	Diskusjon	43

9	Konklusjon	44
10	Vedlegg	45
11	Referanser	45

1 Innledning

1.1 Oppdragsgiver

Telenor Arena startet byggeprosessen i 2006, og bygget sto ferdig i 2009. Arenaen har en kapasitet på 25 000 publikumsplasser, og er totalt på 10 400 m². Telenor Arena er Norges største og ledende innendørs multifunksjonsarena for konserter, events, messer, sport og familieshow. [1]



Figur 1 – Telenor Arena

Energima Gruppen er en ledende aktør innenfor ventilasjonsbransjen. De blir sett på som en utfordrer i en bransje som arbeider med systemer som ikke snakker sammen. De siste årene har de brukt store ressurser for å bidra med å omstille kunders tradisjonelle drift til en moderne og digital drift, med installasjon av operativsystemet Properate. Et system som de har utviklet sammen med Cognite AS. Med Properate medvirker de til at kunder vil kunne spare penger på å spare energi, effektiv drift og i tillegg bli mer klimavennligere. [2]



«Energima Gruppens oppdrag er å skape et bedre inneklima for våre samarbeidspartnere. Fordi ren luft lønner seg. Bedre for business. Bedre for folk.»[2]

1.2 Problemstilling

Figur 2 – Energima logo

Dagens ventilasjonsløsning på Telenor Arena består av fire sett med spjeld over kjøreporter, et luftinntak på langsiden nord, og fire soner med røykluker fordelt på to rader i hver sone. Disse sonene kalles sør-vest, nord-vest, nord-øst og sør-øst, som til sammen tilsvarer et åpningsareal på 180 m². Energima monterte i 2016 lyd- og lys-feller på to av disse sonene. Dette gir et totalt åpningsareal på 90 m² i taket. Spjeldene gir totalt en åpning på 32.1 m², der halvparten brukes under konserter på grunn av sceneplassering. I tillegg til røykluker og spjeld, har luftinntak på langsiden nord et inngangsareal på 6.25 m² og et utgangsareal på 11.7 m². For å bruke dette luftinntaket, må en mobil tilluftskanal trekkes ut fra inntaket og ut til en diffusor. Grunnet diffusor sin plassering i sceneområde, brukes dette luftinntaket sjeldent. Dagens ventilasjonsløsning har ingen fast styreplan, men styres fra et lokalt SD-anlegg, hvor det er en drifter som styrer anlegget. I tillegg sitter det vifter i taket, som brukes når det er kaldt ute, for å dytte varm luft ned. Dette gjøres for å hindre at det blir for kaldt nede på selve arenaen.

Med dagens løsning er det blitt registrert inneklimateutfordringer nede på matten og oppe i VIP-sone. Under en konsert vil det kunne være et publikum på 20 000 – 25 000 personer. Avhengig av antall personer inne på arenaen, hvor mye lys og sceneteknikk det er, samt hvilket vær der er ute, har det vært vanskelig å styre lukene og spjeldene for å holde et tilfredsstillende inneklima. Et dårlig inneklima på en konsert vil føre til at publikum og artister får en dårligere opplevelse av konserten. Dette kan igjen føre til at både publikum og artister heller vil velge andre arenaer enn å komme tilbake.

Energima har tidligere gjort beregninger og foretatt en «3D non-isoterm CFD-analyse» av anlegget som de ønsker at skal bli etterprøvd. Vi skal derfor her gjøres en sammenligning med CFD-analysen, og se om en slik analyse blir nøyaktig nok. I tillegg til denne sammenligningen, vil vi kartlegge trekk og klima i arenaen, for å se hvordan det best kan luftes.

Da vi innledet arbeidet med denne oppgaven gikk en ut ifra at det var noe mekanisk ventilasjon i arenaen. I utgangspunktet skulle det lages en større reguleringsplan for å samkjøre den nye styringen av spjeld og røykluker, sammen med det eksisterende anlegget. På første befarings ble det fort avslørt at problemstillingen ikke berørte noe med mekanisk ventilasjon, og oppgaven og problemstillingen måtte derfor justeres. Dette resulterte i at måle- og analysedelen av oppgaven ble større og målet med å utvikle en reguleringsplan ble endret til å utforme en driftsplan.

1.3 Hovedidé for løsningsforslag

Før første befarings var hovedidé for et mulig løsningsforslag å montere opp sensorer som kunne måle luftstrømmingene igjennom røyklukene, og luftkvalitet rundt om i arenaen. Disse dataene skulle så bli brukt til å sette opp en reguleringsplan for styring av røyklukene, noe som igjen skulle kunne redusere bruk av mekanisk ventilasjon.

Etter første befarings hvor det ble oppdaget at det ikke var mekanisk ventilasjon i bygget, måtte hovedidéen endres. Målebiten av oppgaven forholder seg helt lik, de samme målingene ble utført som først planlagt og sammenligningen med tidligere CFD-analyse ble også den samme. Det som ble endret var at det opprinnelige målet om å lage en reguleringsplan nå ble gjort om til en driftsplan. Etter at luftstrømmer og mengder er kartlagt under forskjellige tester, vil disse dataene danne grunnlaget for å lage en god driftsplan som skal kunne brukes under arrangement. Denne vil ta hensyn til tregghet i systemet og utetemperaturer. For at dette skal fungere best mulig er det viktig med sensorer i arenaen som registrerer om innklimaet er godt nok.

2 Kravspesifikasjon

- Måling som skal utføres
 - Luftstrømmer
 - Luftkvalitet
 - Temperatur
 - CO2
 - VOC
 - Luftfuktighet
 - Utendørsmålinger kan hentes fra NILU, YR eller lignende
 - Lyd
 - Lys
 - Lufttrykk
 - Inne
 - Ute
- Lagring av data skal skje
 - Lokalt
 - Lagres på SD-kort i loggerne
 - Skylagring
 - Energimas google disk
 - Properate eller egen skyløsning
- Driftsplan plan skal ta hensyn til
 - Ventilere med tanke på temperatur og luftkvalitet
 - Forskjellige planer i forhold til ute temperatur
 - Må ta hensyn til nedbør og vind (YR.no)

3 Analyse av problemet

For å oppnå et godt inneklima er det viktig med god utskiftning av luften i rommet. Et godt inneklima kan måles med flere forskjellige parametere, hvor alle har forskjellige grenseverdier, deriblant temperatur, CO₂, NO_x, VOC, og luftfuktighet. I denne oppgaven vil fokuset være på temperatur, CO₂ og VOC. Telenor Arena er ikke et rom noen oppholder seg i over lengre perioder, og inneklimaet vil derfor ikke ha noen betydelige helsepåvirkninger. Det er fortsatt viktig med et komfortabelt inneklima for å få en bedre opplevelse inne i arenaen, men den begrensede eksponeringstiden er årsaken til at øvrige inneklimaparametere for et sunt inneklima ikke er med i målingene våre.

I henhold til byggt teknisk forskrift (TEK17) bør frisklufttilførselen per person i lett aktivitet, som er det laveste nivået av aktivitet, være på 26 m³/t. Ved en fullsatt sal i Telenor Arena kan det være opptil 25 000 personer i hallen, i tillegg til sceneteknikk og effekter under konserter. Disse parameterne påvirker inneklimaet og gjør at frisklufttilførselen burde ligge på mer enn 26 m³/t. Det må også legges på 2.5 m³/t per m² gulvareal når arenaen er i bruk. [3] Ut ifra dette vil frisklufttilførselen til arenaen ideelt ligge på minimum 676 000 m³/t.

Siden kontordelen av Telenor Arena har egen ventilasjon, og det er der man oppholder seg over lengre perioder, er selve arenaen unntatt radonkravene. Dette fører til at radon-nivået ikke trenger å tas hensyn til, selv om dette tidvis kan være høyt mens arenaen ikke er i bruk. [4] [5]

Parameterne som tas hensyn til i oppgaven er de vanligste når det snakkes om inneklima. Luftfuktighet og temperatur er noe man lett merker på kroppen, mens CO₂ og VOC ikke merkes like lett. Temperatur og fuktighet anbefales å ligge på 20-22°C og 20-60%. Dette er de to parameterne som er enklest å ha kontroll på og endre. Man merker for eksempel raskt om et rom er kaldt når man kommer inn i det. [6]

CO₂-nivået er en av de mest brukte indikatorene for å måle hvor godt et ventilasjonsanlegg er. Gjennomsnittskonsentrasjonen av CO₂ i uteluft er ca. 400 ppm. I henhold til ASHRAE standarden er det anbefalt at CO₂-konsentrasjonen burde ligge på under 700 ppm inne i bygg. Nivåer på over 3000 ppm er bevist at øker faren for hodepine, trøtthet, utmattelse og konsentrasjonsvansker. [7] Arbeidstilsynet anbefaler at CO₂-nivået skal være lavere enn 1000 ppm. [8] Det finnes ingen global standard for CO₂ nivå, men det er en enighet at for høy CO₂ kan føre til sykdom og plager.

VOC, eller flyktige organiske forbindelser som det heter på norsk, er gasser og lukter som avdampes fra giftstoffer og kjemikalier i hverdagsprodukter. Eksempler på VOC-kilder kan være maling, voks, kosmetikk, matlaging og pusting fra mennesker. Virkningene av høye nivåer av VOC kan være alt fra hodepine, hoste og hudirritasjoner, til luftveissykdommer, innvirkning på reproduksjonssystemet og innvirkning på indre organer. VOC kan bekjempes effektivt ved å bytte luftfiltre regelmessig, lufte godt og utskiftning av luft, samt redusere objekter som avgir mye gasser eller lukt. Det er ikke anbefalt at VOC-nivåene overstiger 250 ppb over lenger tid, og ikke noen gang over 2000 ppb. Siden VOC-nivåene er veldig avhengige av hva som er i rommet, er det viktig å måle over en lengre periode. Er rommet for eksempel nymalt vil nivåene være mye høyere enn i en vanlig periode. [9]

Sammen med at disse parameterne bør holdes under angitte grenser, må trekken også tas med i beregning. Om det oppleves trekk for de som sitter i salen, vil det oppleves mye kaldere enn det faktisk er. Derfor bør det ikke være luftstrømmer som overstiger 0.15m/s i rom hvor mennesker oppholder seg. [8]

3.1 Utforming av løsninger for Måling

Ønsket med målingene er å få et godt oversiktsbilde over hvordan luftstrømmen er i arenaen både før røyklukene åpnes og etter at de er åpnet, for å se hvor stor virkning dette har på luftkvaliteten inne i lokalet. Det er et ønske at luften fra den naturlige ventilasjonen skal spres rundt i lokalet, og at det ikke skal dannes soner hvor luften ikke skiftes ut. Her stiller Energima med alt av sensorer, så jobben med å finne ulike sensorer som kan brukes er allerede gjort.

3.1.1 Vurderinger i forhold til plassering av sensorer

- Luftstrømssensorer
 - Luftstrømssensorer skal monteres i et utvalg spjeld og røykluker. Dette gjøres for å kunne måle retningen på luftstrømmene inn og ut av arenaen, og bruke lufthastigheten i til å regne ut volumstrømmen av luftutskiftning i arenaen.
 - Luftstrømssensorer skal monteres rundt om i arenaen på steder hvor scene skal stå og hvor tilskuere skal sitte. Dette skal gjøres for å kartlegge hvordan luftstrømmene fra spjeld og røykluker påvirker sceneteknikk og luftkvalitet for tilskuere.
- Luftkvalitetssensorer
 - Luftkvalitetssensorer skal monteres på gangbro i nærheten av røyklukene for å måle temperatur oppunder taket i arenaen.
 - Luftkvalitetssensorer skal monteres i arenaen på en høyde rundt 2 meter for å måle temperatur og luftkvalitet der publikum befinner seg. Det skal også monteres sensorer i forskjellige høyder i publikumstribunene
- Lydsensorer
 - Lydsensorer skal monteres på innløpet og utløpet til røyklukene for å måle lyd som lekker ut igjennom lydfeller montert i røyklukene
- Lyssensor
 - Lyssensorer skal monteres i taket på røykluker for å måle lys som lekker igjennom lysfeller montert i røyklukene.
 - Sensoren må skjermes på en slik måte at den bare måler lys som slippes ut.
- Lufttrykksensorer
 - Lufttrykksensorer skal monteres fordelt rundt i forskjellige nivåer av arenaen for å måle trykkforskjeller mellom luft nede på matten og i nivåene opp til taket.

3.1.2 Valg av sensorer

Valg av sensorer er gjort i forhold til sensorer som Energima har i sitt sortiment. Opplæring i bruk av disse sensorene utføres hos Energima.

- Luftstrømssensor
 - Sensoren som skal brukes er Windsonic Option 1 fra GILL Instruments. Sensoren benytter to sett med ultralyd transdukere til å måle lufthastighet og luftretning over sensoren.
 - Sensoren har i luftretning en rekkevidde på 0-360° med en oppløsning på 1° og nøyaktighet på $\pm 3\%$. For at sensoren skal kunne kalkulere ut luftretning kreves det også en lufthastighet over sensoren på over 0.05 m/s.
 - Sensoren har i lufthastighet en rekkevidde på 0-60 m/s med en oppløsning på 0.01 m/s og nøyaktighet på $\pm 2\%$. [10]

- Luftkvalitetssensor
 - Sensorer som er vurdert å bruke er sensorer fra ElSys og Airthings.
 - Valget falt på Airthings Wave plus. Valget ble basert på både at Airthings sensorene var lett tilgjengelig, sammen med at de har et godt brukergrensesnitt hvor det er lett å hente ut historiske data.
 - Sensoren har en nøyaktighet på $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ på temperatur, $\pm 1\%$ på fuktighet og ± 0.15 hPa på trykk.
 - CO2 og TVOC kan bruke opptil syv dager på å stabilisere seg og komme med nøyaktige data. Da vil de begge ha en nøyaktighet på $\pm 3\%$ [11]
- Lydsensor
 - Lydsensor har blitt nedprioritert, da Telenor Arena har erfart at fellene holder akseptable nivåer
- Lyssensor
 - Lyssensor har blitt nedprioritert, da Telenor Arena har erfart at fellene holder akseptable nivåer
- Lufttrykkssensor
 - For å kunne måle nøyaktig og minimere feilkilder skal det benyttes en differensial trykk-måler for å måle trykkforskjellene.
 - Trykksensoren må kunne måle små trykkforskjeller
 - Det ble brukt KIMO KP111-RF trykkmålere. Disse har et målespenn fra -10 000 til +10 000 Pa med en nøyaktighet på $\pm 0.5\%$ ved måling på ± 30 Pa [12]

3.2 Utforming av løsninger for lagring av data

Datalagringen fra Spacelogger blir lagret internt på minnebrikker. Her blir det laget Pythonscript for å løse opp tekststrengen, gjøre den mer lesbar og lagre den i et nytt Excel-ark. Dette Excel-arket vil videre brukes til å lage grafer for enkel fremstilling av data. Inneklimasensorene lagrer i egne digitale API-er hvor man henter ut dataen fra. Alt dette vil videre lagres i Energima sin skyløsning.

3.2.1 Vurderinger i forhold til verktøy og HW/SW komponenter

Opplæring i bruk av logger og skyløsning utføres hos Energima.

- Lokal logger
 - Logger for luftstrømninger som skal brukes er Spacelogger.W10 Windlogger fra GILL Instruments. Loggeren benytter SD-kort til å lagre måledata lokalt med dato og tidsstempling.
- Skyløsning
 - Lokalt logget data vil bli lastet opp til Energima sin Google Disk etter test
 - Logging av data fra luftkvalitets sensorer logges igjennom Airthings API-brukergrensnitt

3.3 Utforming av løsninger for Driftsplan

Dataene som blir frembrakt under målinger vil videre brukes til å lage en driftsplan for bruk av lukene og spjeld under arrangement. Her vil målet være å få til et så behagelig inneklima som mulig. For å få til dette må tregheter i systemet tas hensyn til, sammen med antall mennesker i arenaen og utetemperatur.

Det ble først tenkt at det skulle lages en reguleringsplan som styrte ventilasjon. Da det viste seg at det ikke var mekanisk ventilasjon i arena-delen, ble dette gjort om til en driftsplan som skal kunne gi ett godt utgangspunkt for å vite når luker og spjeld må åpnes.

3.3.1 Vurderinger i forhold til verktøy og HW/SW komponenter

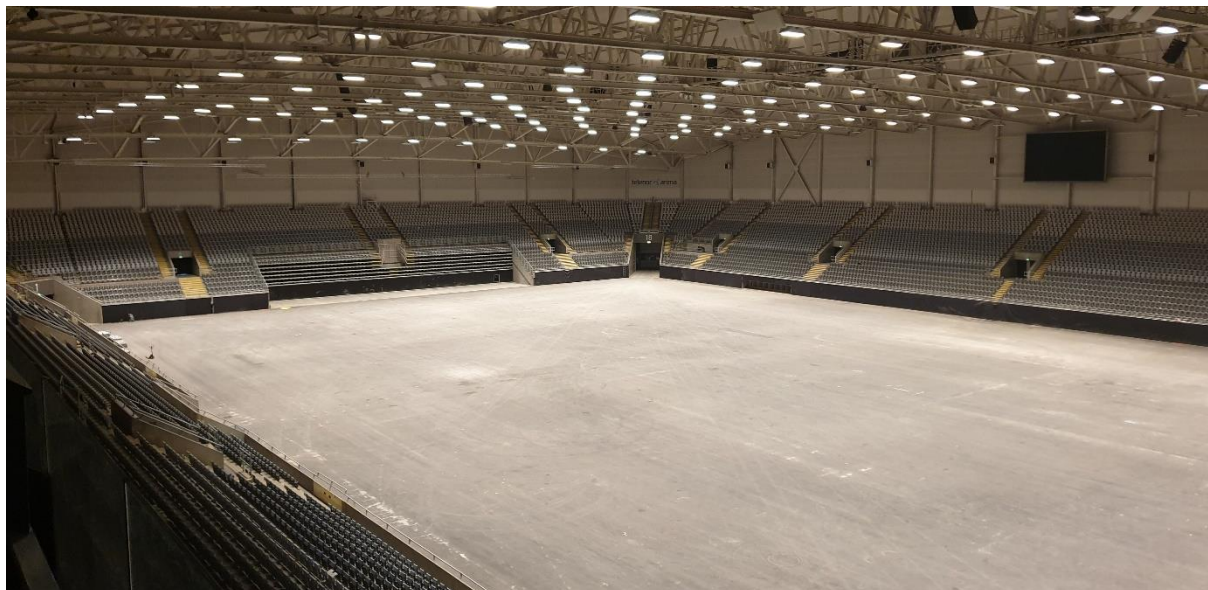
- Styringssystem
 - Telenor Arena sitt eget SD-anlegg, på lokal PC

3.4 Konklusjon

Ut fra krav og spesifikasjoner satt sammen i samarbeid med bedrift, har det blitt utarbeidet en fremdriftsplan. Det ferdige produktet vil kunne bli en driftsplan som Telenor Arena kan ta i bruk for å skape et forutsigbart og godt inneklima ved hjelp av lufting. Driftsplanen vil ta hensyn til tregheter i systemet, åpningsgrad på luker og temperatur.

4 Planlegging og Montering av sensorer

4.1 Befaring Telenor Arena



Figur 3 – Oversikts bilde av arena fra Sky-losje over VIP sone

4.1.1 Erfaringer fra driftsansvarlige

Befaring ble gjennomført sammen med driftstekniker fra Newsec. Av de 64 røyklukene i taket er 32 av dem modifisert med lyd- og lysfeller for at de skal kunne brukes til naturlig ventilasjon. Disse er plassert Nord-Øst og Sør-Øst på taket, og gir en åpningsflate på 90 m². Himmelfretning-inndelingen Nord, Sør, Øst og Vest er gjort etter inndeling satt i eksisterende SD-anlegg. Sør er langsiden hvor spillersluse og VIP område er, og Nord er langsiden mellom port 14 og 18.

Over de fire kjøreportene som er plassert i de fire hjørnene av arenaen er det montert to spjeld som kan styres for bruk i ventilasjonen. I følge driftstekniker blir scene som oftest plassert på kortsiden Vest, hvor tribunen kan trekkes litt tilbake. For å hindre for stor innvirkning på sceneteknikk, blir det oftest kun brukt spjeld på motsatt side av der scenen blir plassert.

Det er ingen faste rutiner for hvordan spjeld og røykluker styres, og er derfor avhengig av hvem som får ansvaret for å styre dem under arrangement. Ofte er det event-planleggere på Telenor Arena som enten styrer ventilasjonen eller leier inn noen til å styre den. Ellers så er det teknisk drift fra Newsec som styrer dem. Ventilasjon og spjeld kan fjernstyres igjennom SD-anlegg eller igjennom lokale styretabla rundt i arenaen.

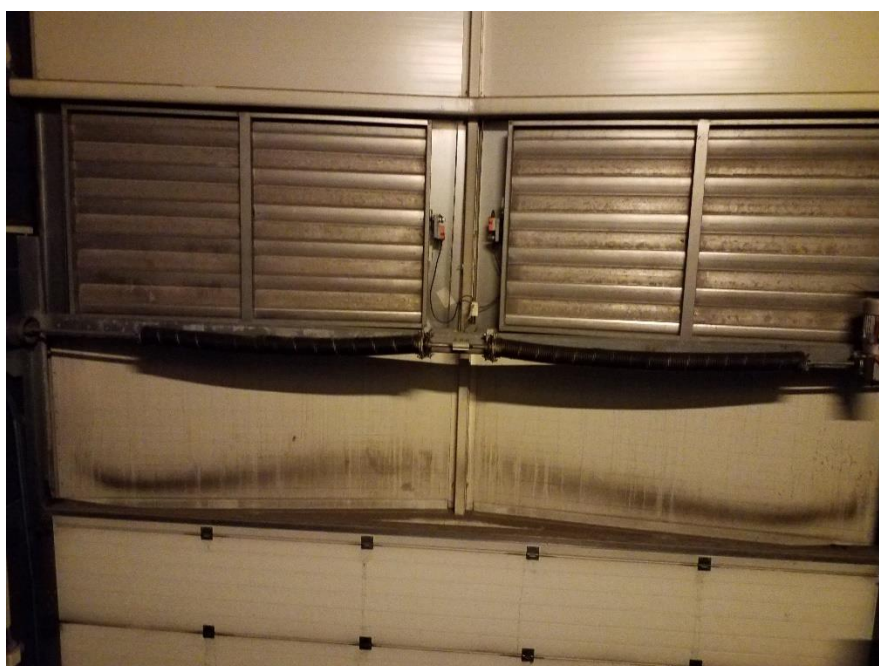
4.1.2 Bilder fra befaring



Figur 4 – Røykluker med lyd- og lysfeller

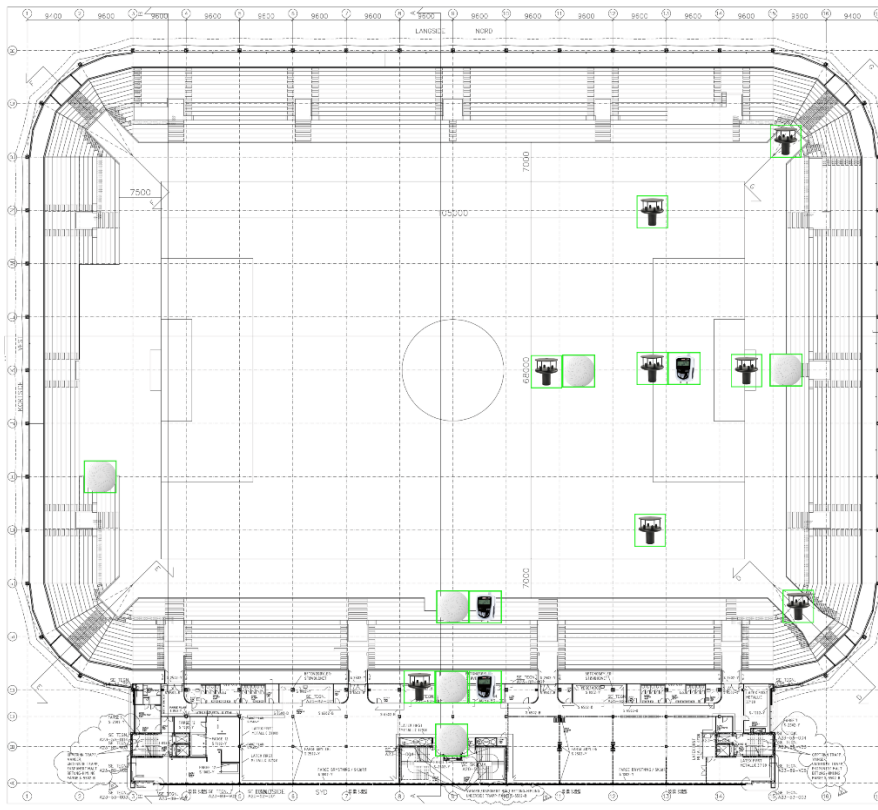


Figur 5 – Røykluker uten lyd- og lysfeller

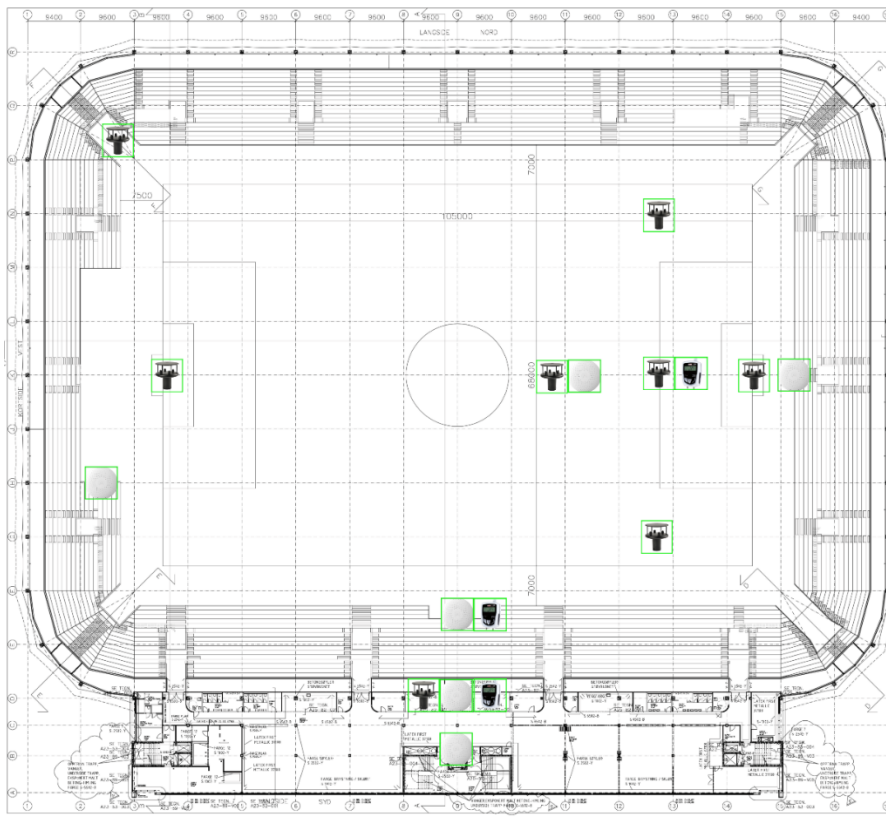


Figur 6 – Spjeld over kjøreporter

4.2 Sensorplassering



Figur 7 – Sensorplassering Test 1 - Spjeld



Figur 8 – Sensorplassering Test 2 – Røykluke og Test 3 – Arrangement

4.2.1 Luftsørmssensorer

Luftsørmssensorenes oppgave er å gi et bilde av hvordan luften beveger seg inne i arenaen når spjeld og røykluker kjøres i forskjellige konfigurasjoner. For å oppnå dette med de åtte tilgjengelige sensorene, er det prioritert områder hvor CFD-analyse (kapittel - 6.6.1) beregnet størst bevegelse i luften, samt områder hvor driftsavdelingen på arenaen har erfart dårlig luft.

CFD-analysen viser at det er mye luftstrømmer under røyklukene og nede på matten. For å dekke disse områdene skal det settes inn fire sensorer på matten under røyklukene som brukes til ventilasjon. Sensorene skal plasseres med en sensor Nord, Sør, Øst og Vest for lukene.

Teknisk drift på arenaen har erfart dårlig utskifting av luft i VIP-området, som er over tribunen på langsiden Sør. For å teste dette skal en sensor plasseres i VIP-sonen.

For å måle hvor mye luft som trekkes inn i arenaen, skal det plasseres ut sensorer i minst en av portene hvor spjeld brukes til ventilasjon under test. Under test av kun spjeld, skal luftstrømsensorer plasseres i begge porter som benyttes.

Ventilasjon kan påvirke sceneteknikk. For å måle ventilasjonens innvirkning på sceneteknikk skal det plasseres en sensor i scene-området. Under Test 1 – Spjeld blir denne sensoren benyttet i en av portene fordi luftstrømmer som beveger seg i retning av scenen, blir dekket av sensorene plassert under røykluker.

For å finne ut av eventuelle luftstrømmer i taket, skal det plasseres en sensor på gangbro midt mellom røyklukene som benyttes til ventilasjon.

4.2.2 Trykksensorer

Trykksensorer skal plasseres ut i arenaen for å kartlegge eventuelle trykkforskjeller inne i arenaen. Disse skal plasseres på tre nivåer. En sensor skal plasseres på matten, en i VIP-sonen og en på gangbro. Denne fordelingen skal skape ett tredelt bilde av lufttrykket i arenaen

Airthings klimasensor som benyttes under testing inneholder en absolutt-trykksensor. Data fra denne sensoren skal brukes til kvalitetssikring av Kimo trykksensoren, og til å skape et bredere bilde i arenaen.

4.2.3 Klimasensorer

Klimasensorene skal skape et bilde av endring i følt luftkvalitet som følge av lufting i arenaen. For å skape ett best mulig bilde luftkvaliteten i arenaen skal de seks sensorene som er tilgjengelig, fordeles jevnt utover.

På matten skal en sensor plasseres midt på matten, en Øst, en Sør og en Vest bak sceneområdet. Denne konfigureringen vil dekke alle punkter av interesse på matten

For å skape et bilde av forskjeller i luftkvalitet oppover på tribunen vil en sensor plasseres i VIP-sonen som er i toppen av tribunen, og en i Sky-losje som henger over VIP-området. Sammen med mattesensor-Sør, skal dette skape et bilde på tre plan av hvordan luftkvaliteten er ved forskjellige høyder opp i arenaen.

4.3 Montering av sensorer

4.3.1 Luftsørmssensorer

Sensorene som plasseres på matten ble montert med en «tripod» og et forlengerfeste slik at sensoren står stabilt og måler i hodehøyde. Noen av «tripodene» og forlenger-festene var skadet eller passet ikke sammen. Dette førte til at et par av sensorene måtte stripes eller teipes fast til stativene.



Figur 11 – Sensor Testsrinkel



Figur 10 – Sensor port 14

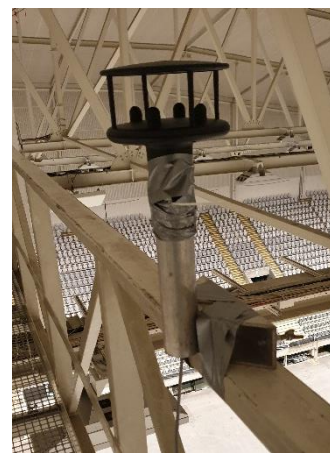


Figur 9 – Sensor port 9

For montering av luftsørmssensor i VIP-området og på gangbro, var det ikke hensiktsmessig å bruke tripod. Ved å feste disse sensorene med gaffateip, ble det oppnådd større frihet i plassering av sensorene og de kunne bli plassert med ønsket høyde og retning.



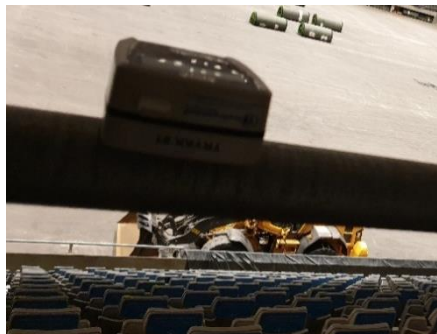
Figur 13 – Sensor VIP-sone



Figur 12 – Sensor Gangbro

4.3.2 Trykksensorer

Kimo trykksensorer har en magnet på baksiden for lett montering under bruk. Matte-sensoren ble plassert på en kasse ved spillersluse i hodehøyde. VIP-sensor ble plassert på rekkverk i VIP-sone i hodehøyde for sittende. Siste sensor ble plassert på en gangbro oppunder taket mellom røykluker.



Figur 15 – Sensor VIP



Figur 16 – Sensor Gangbro



Figur 14 – Sensor Spillersluse

4.3.3 Klimasensorer

Matte-sensorene ble jevnt fordelt utover der det var mulig å plassere dem med tanke på best dekning av måleområdet. Sensor Øst ble plassert over inngang midt på kortsiden Øst. Sensor Sør ble plassert oppå en boks ved spillerslusen, midt på langsiden Sør. Sensor Vest ble plassert over en dør i området hvor tribunen kan trekkes tilbake på kortsiden Vest.



Figur 19 – Sensor Spillersluse



Figur 17 – Sensor Øst



Figur 18 – Sensor VIP

VIP-sensor ble plassert midt i VIP-sonen i toppen av tribunen i samme område hvor trykk og luftstrøms sensorer ble plassert. Sensorene ble samlet for å samle måledata fra samme sone i et målepunkt. Skylosje sensor ble plassert ved tribuneplassene som henger over VIP-sonen. Sammen med sensoren i spillerslusen og VIP-sonen, gir sensorene et bilde av luftkvaliteten oppover ved de tre nivåene publikum oppholder seg i arenaen.

5 Utførelse av tester

Testing av den naturlige ventilasjonen i arenaen utføres i tre deler over tre dager. Det ble satt av en dag til hver test for å la luften i arenaen stabilisere seg mellom hver test. Utendørs værdata under testene ble hentet fra yr.no.[13] Innendørs temperatur før tester ble hentet fra monterte Airthings og eksisterende temperatursensorer i SD-anlegget.



Figur 20 – Flyfoto av Telenor Arena

5.1 Testplan

Det ble utarbeidet en detaljert testplan i samråd med Energima og Newsec, som er ansvarlig for drift av Telenor Arena. I

denne ble det tatt hensyn til HMS, tidspunkter for tester, og prosedyrer som skulle følges. Her ble det lagt stor vekt på nøyaktighet, da det ikke var tid til å kjøre testene flere ganger. Derfor var det viktig at utstyr ble sjekket, plassert riktig og hensynsfullt.

Grunnet arbeid i høyden og på tak, var det flere HMS-rutiner som måtte følges. Deriblant sikring av matte, slik at ingen gikk der mens det ble utført arbeid oppe på gangbroen. Sensorer på gangbroen måtte festes godt, og ingen ting kunne ligge løst. Personell som var nede på matte og sikret, måtte ha på hjelm. Gangbroen hadde gode gjerder, og man trengte derfor ikke ekstra sikring der. Taket på Telenor Arena er flatt på toppen, og stort nok til at arbeid kunne utføres rundt røykluker uten at man måtte sikres med seile. Taket var lett tilgjengelig med dør på taket over kontordel, uten at det var behov for klatring for å komme opp.

Videre ble det laget rutiner for å få registrert alle data, for eksempel fra når spjeld og luker åpnes, hvor mye de ble åpnet og når sensorer ble startet. Alt dette ble sendt til Energima og driftsleder for Newsec. Da planene ble godkjent kunne testingen settes i gang.

Se Vedlegg for komplett testprosedyre.

5.2 Test 1 – Spjeld

Ifølge driftstekniker på Telenor Arena brukes det stort sett bare spjeld i to av kjøreportene på samme tid. For å teste effekten av kun ventilering igjennom spjeld, består Test 1 kun av kjøring av spjeld over port 9 og 14. For å måle luftstrømmer fra disse spjeldene ble det plassert ut en Windsonic luftstrømsmåler i hver av kjøreportene, samt i testsirkelen under røykluker.

Test av effekten på den naturlige ventilasjonen med kun kjøring av spjeld, ble kjørt i to deler. Del 1 ble utført med kun åpning av spjeld i kjøreport 9. Dette ble gjort for å måle om åpning av bare et spjeld førte til endring i luftstrømmer i arenaen.

Test 1 del 2 ble utført ved å åpne både spjeld i port 9 og i port 14. Denne testen ble utført for å se om de to spjeldene klarte å skape en merkbar gjennomtrekk i arenaen.

5.3 Test 2 – Røykluke

For å teste effekten av ventilering igjennom røykluker, består Test 2 kun av kjøring av røykluker Sør-Øst og Nord-Øst. For å måle lukenes påvirkning på luftstrømmer i arenaen ble luftstrømssensorene fra port 9 og 14 flyttet til port 18 og til en posisjon bak scene området. Ellers ble resten av luftstrømssensorene plassert likt som i Test 1 – Spjeld. I tillegg til de stasjonære Windsonic sensorene ble det benyttet et Testo propellanemometer for å måle luftmengden ut av røyklukene.

Denne testen ble som «Test 1 – Spjeld», også delt inn i to deler. Del 1 ble utført med kun åpning av røykluker Sør-Øst. Del 2 ble utført med kjøring av både røykluker Sør-Øst og Nord-Øst. Testen ble delt inn i to deler for å kunne måle om mulige forskjeller i luftmengde og hastighet ut av røyklukene og ut i arenaen med forskjellige konfigurasjon av åpninger.

5.4 Test 3 – Arrangement

Test 3 var den største og mest omfattende testen av de tre testene. «Test 3 – Arrangement» består av kjøring av både spjeld og røykluker. På grunn av innspill fra drift på Telenor Arena, ble det bestemt at spjeld som skulle kjøres under test, skulle endres fra port 9 og 14, til port 1 og 18. Det ble også benyttet et Testo propellanemometer for å måle luftmengden ut av røyklukene under denne testen.

Under testen ble det benyttet røykmaskin for å visualisere luftstrømmene i arenaen. For å bedre kunne analysere bevegelsen av røyken, ble det benyttet fire GoPro kameraer som filmet hele testen. Røyken bidro til at visualisering og identifisering av treget i ventileringen av arenaen, ble tydeligere.

For å unngå unødvendige utrykninger fra brannvesen, ble alle røykvarslere i arenaen koblet ut, samt at brannvesen ble varslet om at testing med røyk ville bli utført i et gitt tidsrom.

6 Analyse av resultater

6.1 Problemer under Testing

Under «Test 1 – Spjeld» ble det registrert en del problemer med noen av sensorene. Det ble konstatert problemer med batteriene til noen av luftstrømssensorene. Sensor W1 Nord, W7 Vest og W8 VIP klarte ikke å logge under test. Årsaken var dårlige kabler og koblingspunkt. Dette gjorde at sensorene koblet seg inn og ut under test og førte til korrupt måledata. Dette ble utbedret før neste test.

Under «Test 2 – Røykluke» opplevde vi også problemer med noen av sensorene. Airthings sensor i VIP området datt ut under deler av testen, og logget derfor inkonsistente data. Luftstrømssensor W1 Nord hadde korrupte data på SD-kortet brukt til logging. Feilsøking etter test avslørte defekt SD-kort i logger.

Under Test «3 – Arrangement» ble det fremdeles opplevd lignende problemer med sensorene som i «Test 2 – Røykluker». Airthingsensor i VIP området mistet kontakten halvveis ut i testen. Luftstrømssensor W1 Nord hadde fremdeles problemer med å klare logging selv etter bytte til fungerende SD-kort, slik at også disse dataene fra denne sensoren ble korrupt i denne testen også.

Etter beregninger av potensielt drivtrykk, som følge av den naturlige ventilasjonen, viste resultatene at den potensielle trykkforskjellen under test var lavere enn måle-nøyaktigheten til både Kimo trykksensorene og klimasensorene. Det ble derfor valgt å se bort ifra disse trykkmålingene, da det er knyttet stor måleusikkerhet til disse målingene.

6.2 Måleresultater

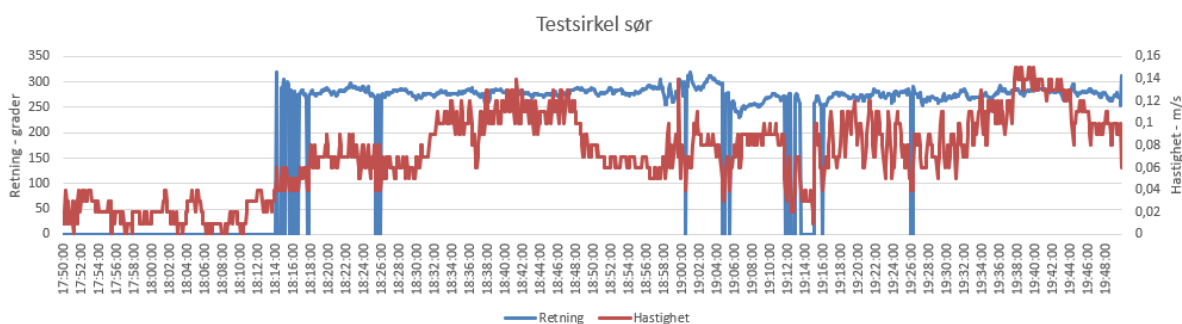
Airthings-sensorene gir temperaturmålinger med en nøyaktighet på to desimaler. Grunnet måleusikkerhet i sensorene ble det valgt å runde av til kun en desimal. I en så stor arena som Telenor Arena er det heller ingen hensikt i å bruke to desimaler.

6.2.1 Test 1 – Spjeld

Været holdt seg stabilt under både del 1 og del 2 av Test 1. Under hele testen var det blå himmel med sporadiske skyer og 0 mm nedbør. Før test var det vindstille med 0 m/s og et atmosfærisk trykk på 1024 hPa. Utendørs temperatur var på 3°C ved test start, og innendørs temperatur midt på matten startet på 17.2°C før del 1 og sank til 17.1°C før del 2 av testen. Del 1 ble utført fra kl. 18:14 til 18:50 og del 2 ble utført fra kl. 18:50 til 19:35.

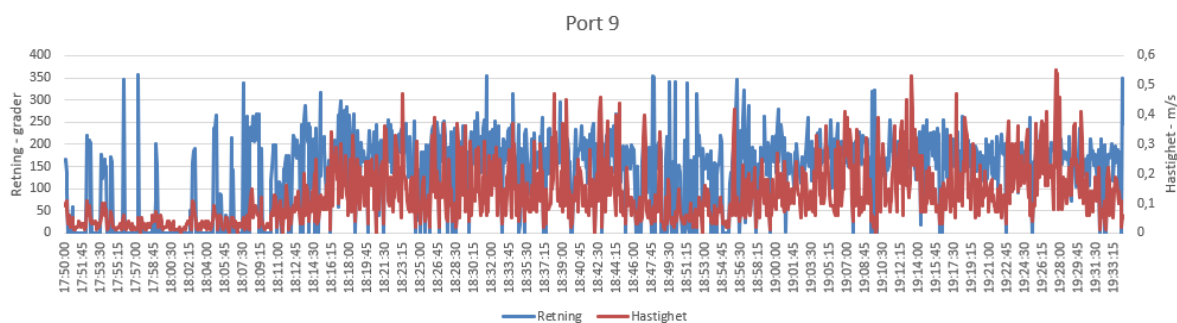
Grunnet problemer med noen av luftstrømssensorene, var det kun sensor W2 Øst, W3 Sør, W9 port 14, W10 port 9 og W11 Gangbro som logget. Sensor W2 som var plassert midt mellom port 9 og 14 på matten registrerte tilnærmet 0 m/s over sensoren under begge delene av testen. Dette betyr at kjøring av spjeld ikke fører til en målbar gjennomtrekk mellom spjeldene. Det samme gjaldt sensor W11 som heller ikke målte noen merkbare luftstrømmer over sensoren. Det vil si at kun kjøring av spjeld ikke førte til noen bevegelse i luften oppunder taket, inne i arenaen.

Sensor W3 som var plassert mellom port 9 og spillersluse, registrerte høyere lufthastigheter. Sensoren målte en trekk fra spillersluse mot kjøreport 9 med en gjennomsnittshastighet på ca. 0.1 m/s. Denne trekken forble uendret i styrke og retning, under del 2 av testen hvor spjeld i port 14 også ble åpnet.



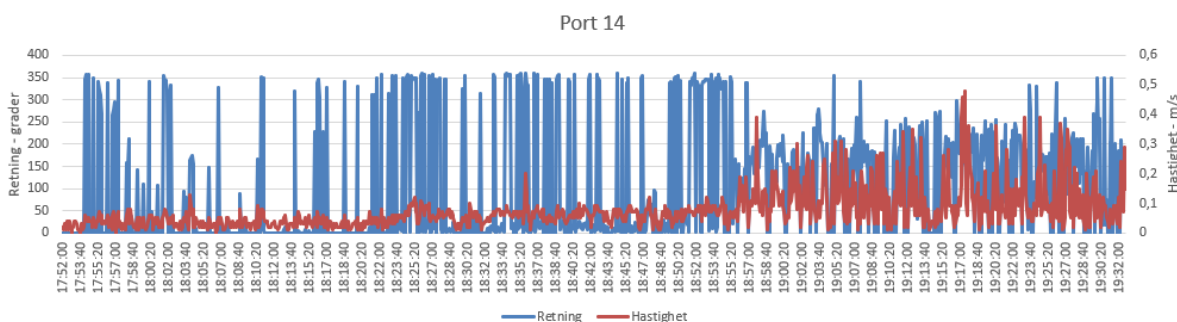
Figur 21 – Plott av sensordata fra sensor W3 Sør

Sensor W9 og W10 plassert i port 14 og 9 målte de høyeste lufthastighetene. Under del 1 av testen hvor kun spjeld i port 9 var åpen, målte sensor W10 en trekk med en gjennomsnittshastighet på 0.2 m/s fra porten inn mot matten. Hvert spjeld har et effektivt åpningsareal på 4.7 m², men på grunn av sensorens plassering ca. 5 meter borte fra spjeld, vil estimering av luftmengde igjennom spjeld bli et underestimat. For å få et bedre estimat, brukes åpningsareal i port hvor sensor ble plassert midt i portåpningen inn mot arenaen. Kjøreportene har et åpningsareal på ca. 25 m², som ved en estimert snitthastighet igjennom porten gir en luftmengde på 18 000 m³/t. Spjeld i port 14 var lukket under denne delen av testen, men det ble målt en svak trekk på under 0.1 m/s fra matten mot porten.



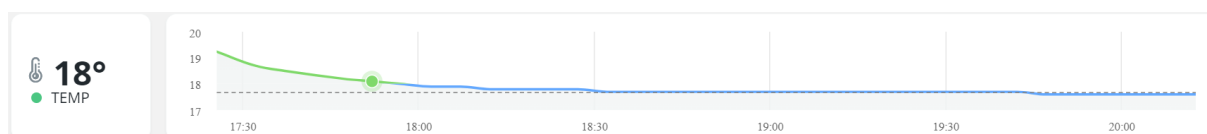
Figur 22 – Plott av sensordata fra sensor W10 i Port 9

Under del 2 av testen hold lufthastighet og retning over sensor W10 i port 9 seg lik som i del 1 av testen. Sensor W9 i port 14 hadde på den andre siden en merkbar endring. Sensoren målte i gjennomsnitt en lufthastighet på 0.2 m/s under del 2 av testen, mens retningen fluktuerte mellom å trekke luft inn og ut av arenaen. Dette gav en luftutskifting i arenaen på mellom 18 000 m³/t og 36 000 m³/t da retningen på luftstrømmene i port 14 fluktuerte.

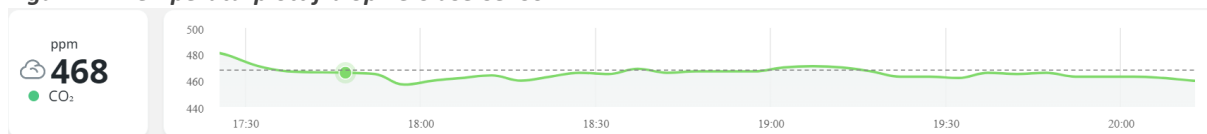


Figur 23 – Plott av sensordata fra sensor W9 i Port 14

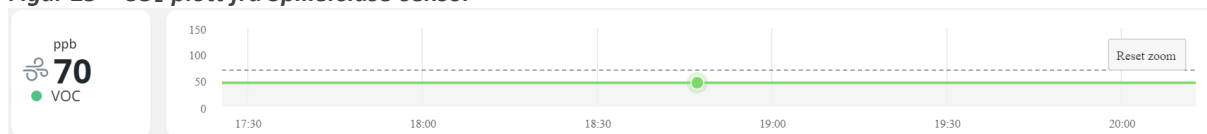
Airthings klimasensorene plassert rundt i hallen, målte ingen påvirkning på innetemperaturen som følge av ventilering igjennom spjeldene. «Airthings-sensor Øst» plassert midt på kortsiden mellom spjeldene som ble benyttet i testen, målte en temperaturreduksjon på 0.1°C. De andre sensorene i arenaen målte tilsvarende temperaturendringer i testidsrommet. Under både del 1 og del 2 av testen målte alle klimasensorene stabilt nivå av CO₂ og VOC i arenaen.



Figur 24 – Temperaturplott fra Spillersluse-sensor



Figur 25 – CO₂-plott fra Spillersluse-sensor



Figur 26 – VOC-plott fra Spillersluse-sensor

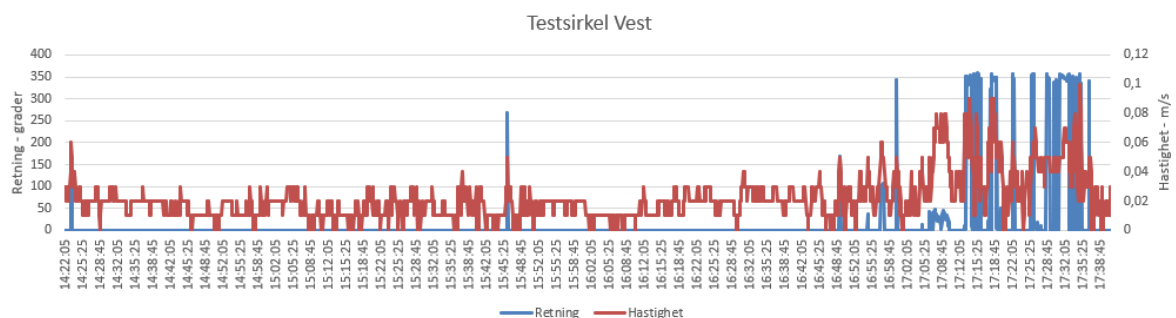
Ut fra måleresultatene fra sensorene under denne testen, kan det konkluderes at med kun kjøring av spjeld førte det til lite utskifting av luft i arenaen. Det ble ikke oppnådd en målbar bevegelse av luften i arenaen, utenom den som var i nærhet av kjøreporter, og det ble som følge av dette ikke oppnådd en målbar utskifting av CO₂ og VOC i arenaen. Ved kun kjøring av spjeld ble det heller ikke oppnådd en temperaturreduksjon inne i arenaen.

6.2.2 Test 2 - Røykluke

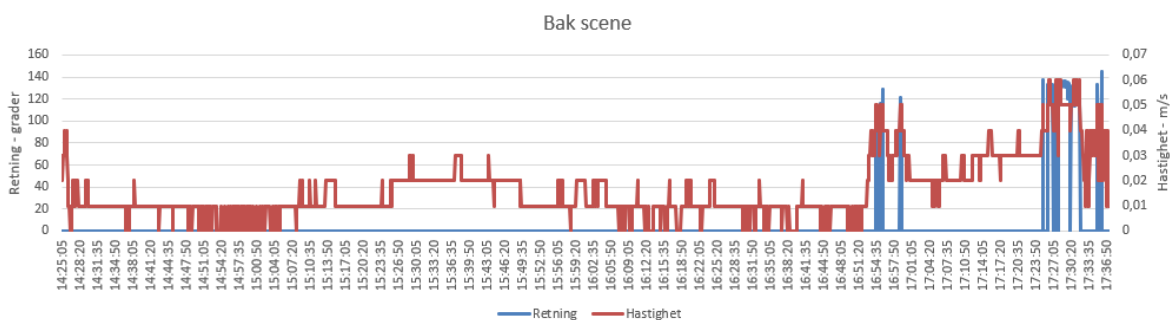
Været holdt seg stabilt under både del 1 og del 2 av Test 2. Under hele testen var det blå himmel med sporadiske skyer og 0 mm nedbør. Under del 1 var det vindstille med 0 m/s og atmosfærisk trykk på 1024hPa, og før del 2 økte vinden til 1 m/s fra Sør-Vest. Utendørs temperatur holdt seg stabilt på 7°C, innendørs temperatur var på 17.7°C før del 1 av Test 2 og økte til 17.9°C før del 2 av testen. Del 1 ble utført fra kl. 14:40 til 15:30, og del 2 ble utført fra kl. 16:30 til 17:40.

Under både del 1 og del 2 av Test 2 målte sensor W11 Gangbro tilnærmet ingen bevegelse i luften oppunder taket langs gangbro, med en gjennomsnittlig lufthastighet på 0.02 m/s. Denne sensoren registrerte ingen påvirkning fra kjøring av røykluker. Sensor W8 VIP registrerte i likhet med W11 ingen endring i luftstrømmer under kjøring av røykluker. Luften i VIP området bevegde seg i snitt med en hastighet på 0.04 m/s i retning fra arenaen og mot VIP boksene.

Sensorene W2 Øst, W3 Sør, W7 Vest og W9 Bak Scene registrerte ingen målbar påvirkning fra kjøring av røykluker under del 1 av Test 2. Under del 2 av Test 2 målte alle disse sensorene en økning i lufthastighet med, en forsinkelse på 15 til 25 minutter, etter at røykluker Sør-Øst og Nord-Øst startet åpning. W2 og W3 målte endring først og registrerte økt lufthastighet fra snitt 0.02 m/s til 0.03 m/s. Sensor W7 og W9 fulgte ca. 10 minutter etter, med en økning i W7 fra snitt 0.02 m/s til 0.05 m/s, og en økning i W9 fra snitt 0.01 m/s til 0.03 m/s. Ut ifra disse målingene kan man se at kun kjøring av en rad med røykluker ikke virket inn på luftstrømmene på matten med noen målbar mengde. Ved kjøring av to rader er luftutskiftingen stor nok til å måle endring, selv om også denne endringen var minimal.

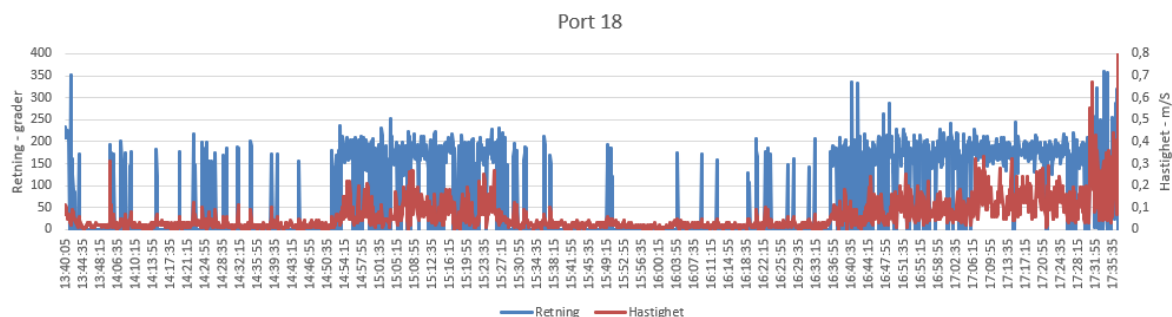


Figur 27 – Plott av sensordata fra sensor W7 Vest



Figur 28 – Plott av sensordata fra sensor W9 Scene

Under Test 2 var ingen av spjeldene i kjøreportene åpne, men sensor W10 logget lekkasje-strømmer fra portene. Under del 1 av Test 2 målte sensor W10 en bevegelse i luften fra porten og inn i arenaen med en snitt hastighet på 0.15 m/s. Under del 2 av testen målte sensoren først en hastighet med et snitt på 0.15 m/s, og etter ca. 30 minutter økte hastigheten til et snitt på 0.2 m/s.



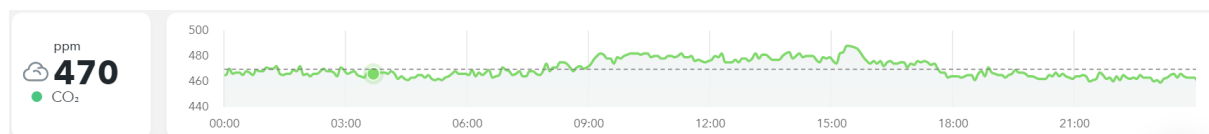
Figur 29 – Plott av sensordata fra sensor W9 Scene

Under del 1 og del 2 av Test 2 ble det målt mellom 0.5 m/s og 0.7 m/s i alle røyklukene. Målt hastighet ut av lukene endret seg ikke fra del 1 til del 2 av testen selv om åpningsarealet i taket ble doblet. Med et åpningsareal på 48.75 m² under del 1 av testen og en snitt lufthastighet utfra lukene på 0.6 m/s, ble det oppnådd en luftutskifting på 105300 m³/t. Under del 2 av testen ble det benyttet 97.5 m² åpningsareal med røykluker, som tilsvarer 210600 m³/t med luftutskifting ved en snitt lufthastighet på 0.6 m/s.

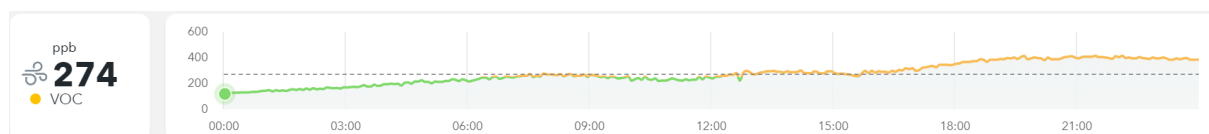
Målinger under både del 1 og del 2 fra Airthings klimasensorene viste at selv ved denne mengden utskifting av luft i arenaen, klarte en ikke med kun kjøring av røykluker, å oppnå ønskede effekter på inn klima. Temperaturen inne i arenaen holdt seg stabilt under hele testen, ved alle målepunktene i arenaen. I testens tidsperiode steg temperaturen i hallen med ca. 0.1°C, jevnt over i arenaen. CO₂ nivået i arenaen forble stabil, mens VOC økte litt under del 1 av testen, men økte mer under del 2. Dette var også sansbart, da det begynte å sive kloakklukt ut i arenaen under testene, antagelig som en konsekvens av vesentlig undertrykk i arenaen.



Figur 30 – Temperaturplott fra Spillersluse-sensor



Figur 31 – CO₂-plott fra Spillersluse-sensor



Figur 32 – VOC-plott fra Spillersluse-sensor

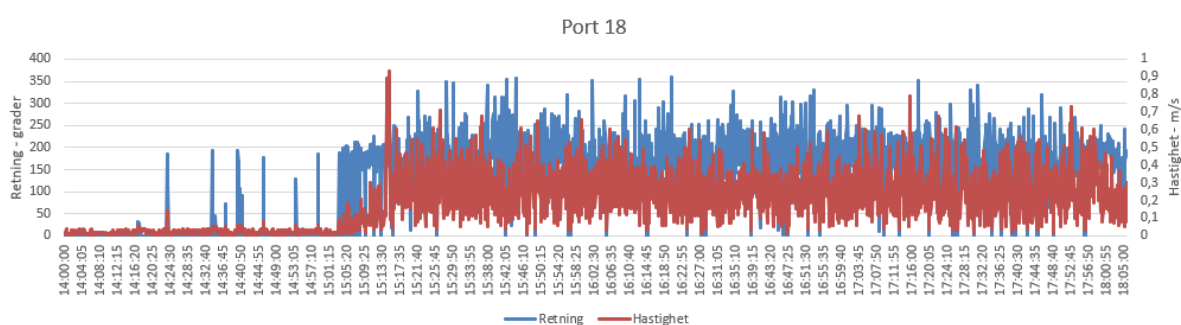
På grunnlag av de samlede måleresultatene fra test 2, kan det konkluderes med at det skjer en betydelig utskiftning av luft i arenaen ved kjøring av kun røykluker. Selv om det skjer en betydelig utskiftning, viste klimasensorene at den «nye» luften inn i arenaen ikke endret inneklimate til det bedre. Mangel på utendørs inntaksluft førte til at luft ble dratt inn fra alle andre steder med høyere trykk enn inne i arenaen. Kjøring av kun røykluker førte derfor til en utskiftning av inneluft, men et forverret opplevd inneklimate i arenaen.

6.2.3 Test 3 - Arrangement

Været holdt seg stabilt under Test 3. Under hele testen var det blå himmel med sporadiske skyer og 0 mm nedbør. Før start av test var det svak vind fra Nord-Øst på 2 m/s og atmosfærisk trykk på 1026 hPa. Utendørs temperatur var 6°C før test start og innendørs temperatur midt på matten startet på 17.7°C. Testen startet kl. 15:00 og varte til kl. 18:10.

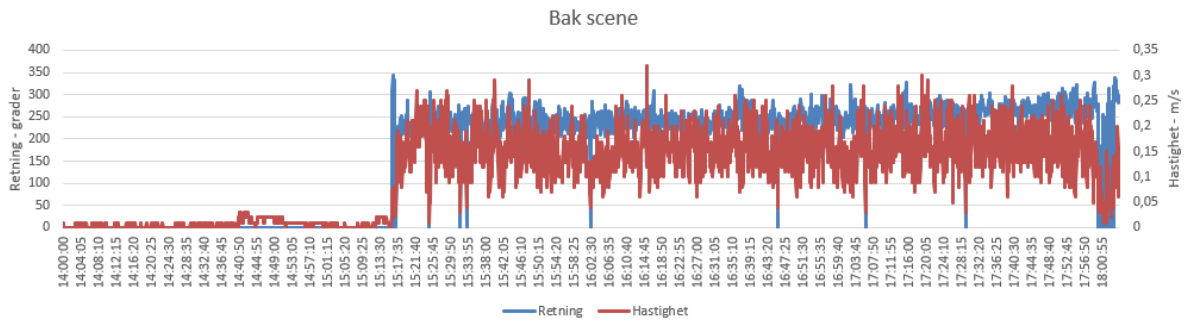
I likhet med Test 1 og Test 2, klarte ikke sensor W8 VIP og W11 Gangbro å måle noen endring som følge av åpning av spjeld og røykluker. Under hele testen målte sensor W8 en bevegelse i luften fra arenaen mot VIP boksene med snitt hastighet på 0.05 m/s, og W11 målte i snitt en bevegelse på 0.02 m/s. Airthings klimasensorene viste at den naturlige ventilasjonen ikke hadde noen påvirkning på luften i VIP-sonen. Sensor plassert i Sky-losje, som henger over VIP-sonen, viste tilnærmet null endring i temperatur, CO₂ og VOC, under hele testen.

Sensor W10 i Port 18 målte en luftstrøm utenfra og inn i arenaen med en snitthastighet på 0.35 m/s. Spjeld i port 1 var også åpen under denne testen, men den ble ikke målt med en egen sensor under hele testen. Den ble testet med et håndholdt propellanemometer i starten av Test 3, og anemometeret viste tilnærmet lik lufthastighet ved begge porter. Det antas dermed at spjeld i begge porter tilførte arenaen luft utenifra med en snitthastighet på 0.35 m/s under hele testen. Med et totalt åpningsareal i kjøreporter på ca. 50 m², oppnås det en estimert lufttilførsel til arenaen på ca. 63 000 m³/t. Denne estimerte luftmengden er et underestimat pga. avstand fra spjeld til sensor og utforming av kjøreport.



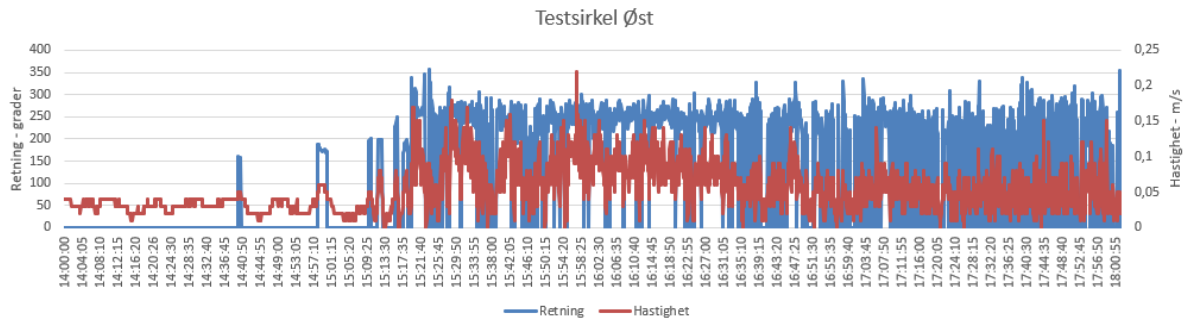
Figur 33 – Plott av sensordata fra sensor W10 Port 18

Sensor W9 Bak scene plassert midt mellom port 1 og 18, målte en luftstrøm på snitt 0.18 m/s fra vest mot røykluker i øst. Det vil si at luftstrømmene fra portene som treffes på midten, får en samlet retning østover mot testsirkelen under røyklukene.

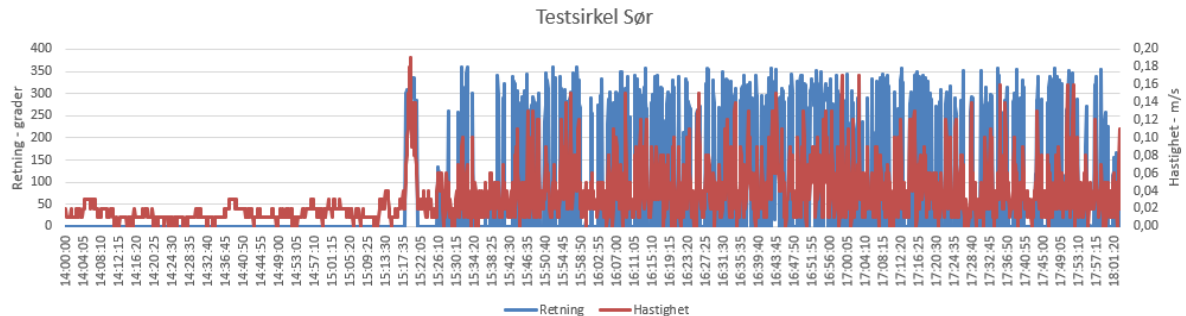


Figur 34 – Plott av sensordata fra sensor W9 Bak scene

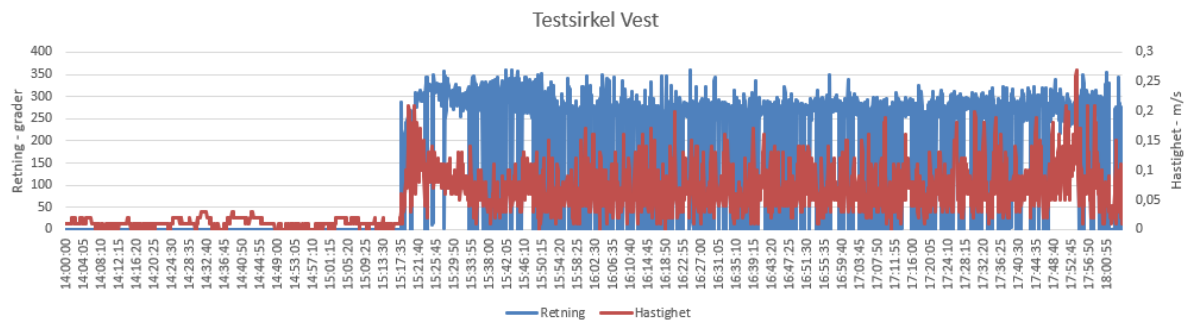
Sensor W7 Vest i testsirkelen målte en luftstrøm på snitt 0.1 m/s, med en retning fra nordvest. Sensor W2 Øst målte en noe lavere luftstrøm med en snitt hastighet på 0.08 m/s fra vest. Sensor W3 Sør målte en enda svakere luftstrøm med en snitthastighet på 0.05 m/s med retning fra nordvest. Sensor W1 Nord klarte ikke logge, men det antas at den målte lignende verdier som W3 Sør.



Figur 35 – Plott av sensordata fra sensor W2 Øst



Figur 36 – Plott av sensordata fra sensor W3 Sør

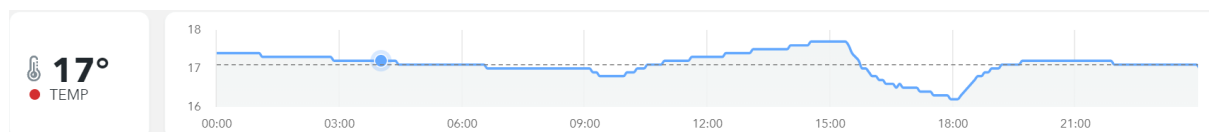


Figur 37 – Plott av sensordata fra sensor W7 Vest

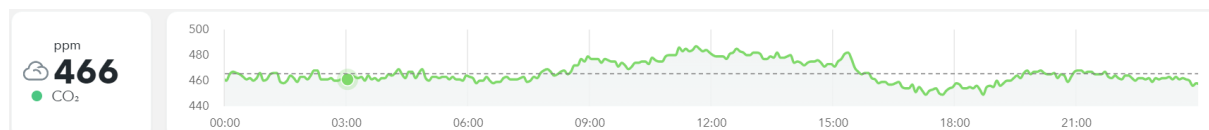
Sammensatt viste disse målingene i portene, mellom portene og testsirkelen under røyklukene at luften beveget seg fra kjøreportene i vest og over matten mot øst. Fra vest bak scene til øst, halveres lufthastigheten på luftrømmene, men samtidig bres de utover i arenaen. Det var også ingen tegn til at det var noe betydelig trekk fra matten opp mot røyklukene, da sensor W7 Vest og W2 Øst hadde liten forskjell i lufthastighet og retning.

I likhet med Test 2, ble det målt mellom 0.5 m/s og 0.7 m/s igjennom røyklukene med en gjennomsnittshastighet på ca. 0.57 m/s. Siden alle røykluker på øst-siden av taket var åpne under hele testen, ble det oppnådd en luftutskiftning i arenaen på ca. 200 070 m³/t. Propellanemometeret som ble brukt til denne målingen, gikk tom for strøm før slutføring av testen, men gjennomsnittsavlesningen holdt seg stabilt rundt 0.57 m/s frem til en time før testen ble avsluttet. Det antas at gjennomsnittshastigheten igjennom røyklukene forble stabil rundt 0.57 m/s under hele testens varighet.

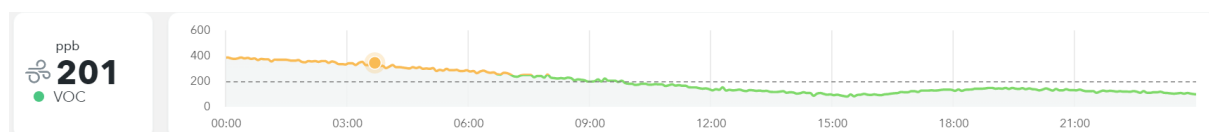
Målinger fra Airthings klimasensorene gav et tydelig bilde på både effektiviteten og tregheten til den naturlige ventilasjonen i arenaen. Fra start av testen startet alle sensorene på matten, utenom øst-sensor, på ca. 17.7°C, mens øst-sensor viste at det var et «cold spot» øst i arenaen der det var 17.2°C før testen. Etter oppstarten av testen tok det ca. 30 minutter før sensorene målte noen endring i inneklimate. Alle sensorene på matten holdt seg stabilt til ca. 30 minutter etter oppstart av test, for så å vise en synkende trend for både temperatur og CO₂-nivå i arenaen. I samme tidsrom målte sensorene en svak økning av VOC i luften. I snitt sank temperaturen i arenaen med ca. 1.5°C, mengden CO₂ i arenaen med ca. 20 ppm, mens VOC økte med et snitt ca. 20 ppb under testen.



Figur 38 – Temperaturplott fra Spillersluse-sensor

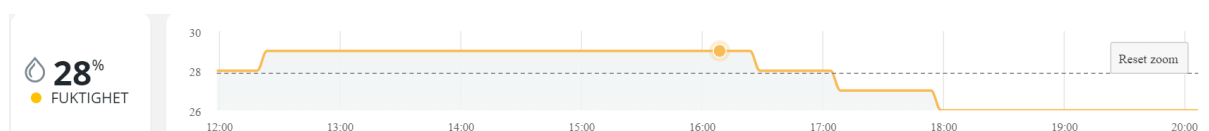


Figur 39 – CO₂-plott fra Spillersluse-sensor



Figur 40 – VOC-plott fra Spillersluse-sensor

Luftfuktigheten i arenaen falt fra 29% til 26% som et resultat av tilførsel av tørr friskluft, og holdt seg derfor i det nedre området av det som er et anbefalt nivå på mellom 20% og 60%.



Figur 41 – Luftfuktighetsplott fra Spillersluse-sensor

Under hele testen ble åpningsarealet på inn- og utluft holdt uendret, og målte lufthastigheter i arenaen var jevne. Selv med tilnærmet lik utskifting av luft viste målingene fra klimasensorene at effektiviteten av den naturlige ventilasjonen på inneklimaet, ikke var stabil. Ved å se på målingene i 30 minutters intervaller, blir dette veldig tydelig. Den første halvtimen var det tilnærmet ingen endring i inneklimaet. I den andre halvtimen falt temperaturen i arenaen med et snitt på 0.7°C, mens i den tredje halvtimen falt temperaturen med bare ca. 0.3°C. I de resterende halvtimen av testen falt temperaturen med et snitt på 0.1°C per halvtime. Målingene viste også at kjøleeffekten til den naturlige ventilasjonen var ulik forskjellige steder på matten. Vest-sensor som var plassert mellom portene hvor spjeldene ble åpnet, hadde lavest målt endring som følge av luftingen, med en temperaturendring på 0.5°C den andre halvtimen av testen. Temperaturendring over sensorene plassert lenger øst i arenaen registrerte en større endring, der sensor-Øst plassert lengst til øst målte størst endring med en temperaturendring på 0.9°C i den andre halvtimen av testen.

Ut ifra de samlede måleresultatene fra Test 3, kan en konkludere med at det skjer en betydelig utskifting av luft i arenaen ved åpning av spjeld på bakkeplan og åpning av røykluker i taket. I målingene fra luftstrømsensorene ser man at luften beveger seg utenfra og inn gjennom kjøreportene, for så å spre seg ut i arenaen med hovedretning østover. Dette gjenspeiles i klimasensorene som alle måler en nedgang i temperatur og CO₂, mens de måler en svak oppgang i VOC. Det mistenktes at økningen av VOC skyldes forskjell i åpningsareal på inn- og utluft, som igjen fører til lignende problemer som i «Test 2 - Røykluke». Klimasensorene gir også et bilde av treghet og av effektiviteten til systemet over tid, da det tar i snitt 30 minutter fra en starter på ventileringen til det oppstår en målbar endring i arenaen. Målingene viste også at ventileringen er mest effektiv den andre halvtimen etter ventilering har startet, da effektiviteten på endring i inneklimaet fra ventileringen halveres i tredje halvtime etter start. Totalt sett, kan det konkluderes med at ventilering bør starte minst en halvtime før det antas at utluftning trengs, og bør vare i minst en time.

6.3 Analyse av røyk med GoPro

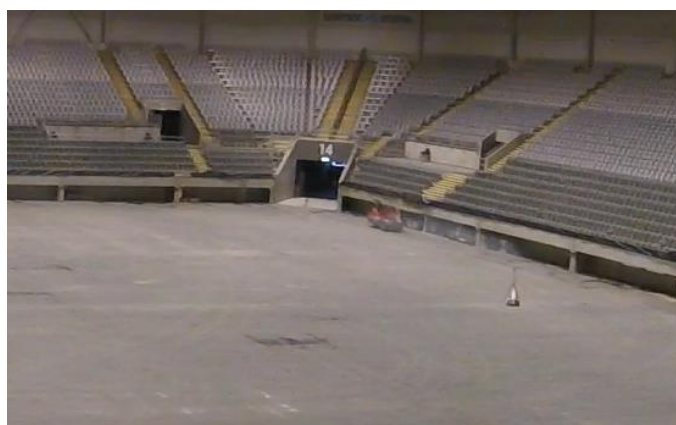
Under hele «Test 3 - Arrangement» ble det filmet med GoPro-kamera fra Port 14, Port 18, VIP og på taket. Dette ble gjort for å lettere kunne visuelt analysere luftbevegelsene i arenaen ved hjelp av røyk. Testen startet med at port 18 ble fylt med røyk der spjeld var blitt åpnet. Etter at røyken hadde blitt dratt ut i arenaen, ble det testet med mindre røykdoser rundt på matten for å sjekke luftstrømmer over hele matten. Ikke alle kameraene filmet hele testen, noen kamera gikk tomme for strøm underveis, men likevel filmet alle under de to rundene med røyktesting.



Figur 42 – Bilde av Port 18 i start av Test 3 med røyk

Videoene fra GoPro-kameraene gir et visuelt bilde som samsvarer med den konklusjonen som ble gjort ut ifra luftstrømssensorene sine måledata. Røyken beveger seg fra portene med åpne spjeld, sprer seg utover matten og trekker mot øst-siden av arenaen.

GoPro-videoene viser også tregheten i det naturlige ventilasjonssystemet. Fra port 18 til øst-siden av matten bruke røyken ca. 8 minutter. Hastigheten til røyken gjenspeiler målingene fra luftstrømssensorene som var plassert på matten. Røyken hadde størst hastighet ut av portene, for så å bremse opp etter hvert som den bevegde seg østover langs matten. Røyken viser også at det ikke er noen synlig trekk fra matten mot røyklukene i taket. Dette er noe som ble bekreftet i video fra GoPro-kamera på taket som ikke filmet noen røyk. Røyken hadde da gått i oppløsning før luften trakk ut av lukene.



Figur 43 – Bilde av røyk som treffer kortsid vest

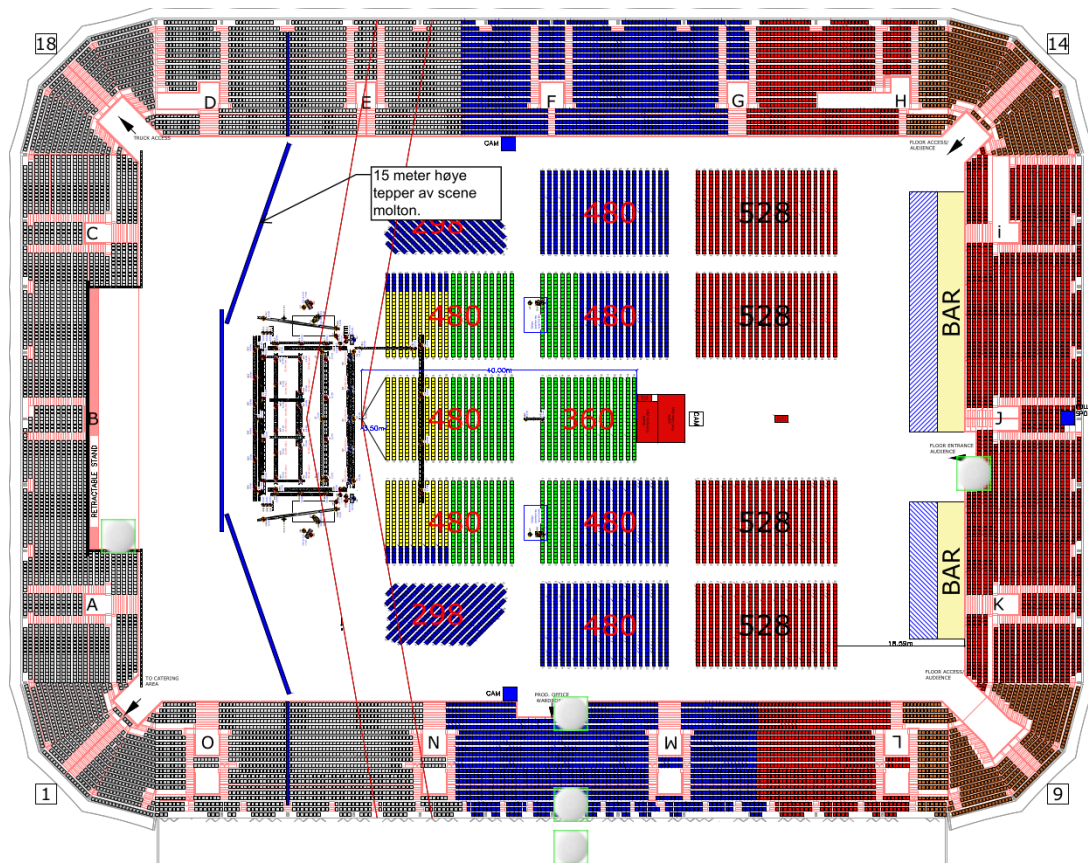


Figur 44 – Bilde av tak med røykluker under Test 3

6.4 Analyse av konsertmålinger

6.4.1 Grunnlag for målinger

Airthings klimasensorene som logget under testing, var montert opp for fast overvåkning av inn klimaet i arenaen under konserter og arrangementer. Den 29. april var det konsert med Hans Zimmer på Telenor Arena med en nesten full sal. I forkant av konserten ble drift på Telenor Arena spurt om å logge når de kjørte røykluker og spjeld, og hvilke som var i bruk til ventilering i arenaen under konserten. Målet med dette var at sammen med logging fra klimasensorene, skulle det bli mulig å sammenligne måleresultater fra testene og med det oppnå en bedre forståelse av luftbevegelsene i arenaen og effektiviteten til den naturlige ventilasjonen.



Figur 45 – Modell av arena under konsert med sensorplassering

6.4.2 Problemer før konsert

I forkant av konserten hadde klimasensoren som var plassert på Øst side av matten, mistet kontakt med Airthings hub-en. Det ble sendt en ansatt fra Energima til å bytte batteri på sensoren som vi mistenkte var bakgrunn til feilen. Sensoren fikk kontakt en liten stund, men mistet igjen kontakt før konserten. På konsert dagen begynte flere av sensorene å få problemer. Før konserten startet hadde Airthings hub-en mistet kontakt med sensor Øst, Vest og Skybox. Det mistenkes at dette var på grunn av forstyrrelser fra mobiltelefoner, sceneteknikk og kasseutstyr i baren. Man kan se at sensorene detter ut samtidig som arenaen fylles med publikum, og at det derfor vil komme mer interferens i trådløse signaler.

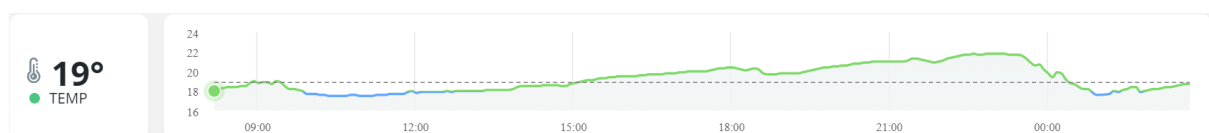
Dette førte til at det bare ble målt fra to klimasensorer under konserten, en på matten plassert ved spillersluse, og en plassert i VIP område. Til tross for problemer med sensorene ble det registrert

målinger på de to høyde nivåene der det oppholder seg mest publikum. Fra tidligere testing har det vist seg at målinger fra sensor i spillersluse representerte et tilnærmet snitt av inneklimate på matten.

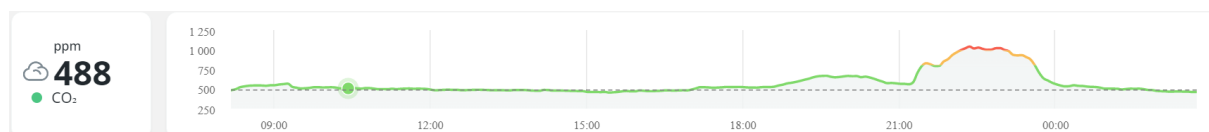
6.4.3 Måleresultater

Været holdt seg stabilt under konserten. Da publikum slapp inn i arenaen var det sol og litt overskyet. Været gikk over til å bli helt overskyet da konserten startet. Det var 0 mm nedbør under hele konserten. Før konsertstart var det flau vind fra Sør-Øst på 1 m/s. Utendørs temperatur var 13°C før konsertstart. Innendørs temperatur midt på matten var først på 20.4°C ved start av publikumsinnslipp, og økte til 20.5°C ved konsertstart.

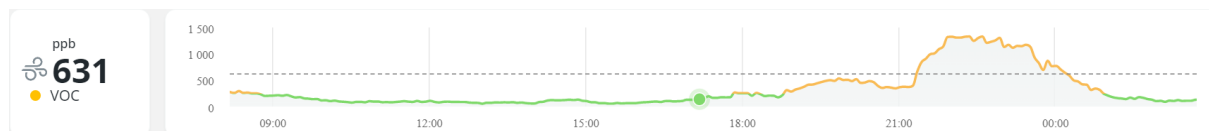
Fra morgenen av på konsertdagen, ble røykluker øst åpnet til 40%, samt at spjeld i port 9, 14 og 18 var åpnet 100%. Røykluker ble åpnet 40% for å få likere åpningsareal på inn- og utluft slik at kraftig trekk i kjøreporter ble unngått under konserten. Tregheter i den naturlige ventilasjonen målt under testene fra kapittel 6.2, viste seg på nytt i konsertmålingene. Fra luker og spjeld ble åpnet kl. 09:00 om morgenen, tok det ca. 30 minutter før det ble målt endringer i inneklimate. Etter 30 minutter begynte nivåene av temperatur, CO₂ og VOC å synke.



Figur 46 – Temperaturplott fra Spillersluse-sensor



Figur 47 – CO₂-plott fra Spillersluse-sensor



Figur 48 – VOC-plott fra Spillersluse-sensor

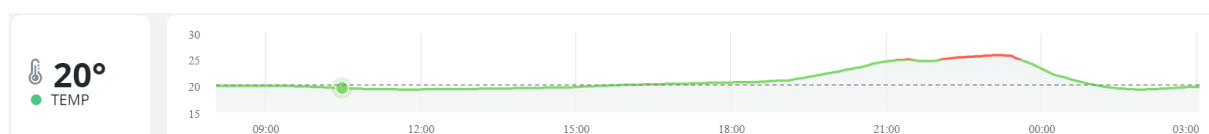
Publikumsinnslipp til konserten startet kl. 18:00, og da ble kjøreporter 9 og 14 på kortsiden øst åpnet. Det økte åpningsarealet på inntaksluft førte til at temperaturen begynte å synke etter 30 minutter, mens CO₂ og VOC fluktuerte rundt de lave nivåene på 550 ppm CO₂ og 200 ppb VOC. Etter hvert som arenaen fyltes opp med publikum, viste målinger fra klimasensorene en jevn økning i CO₂ og VOC frem mot konsertstart kl. 20:00. Ved konsertstart hadde CO₂ nivå i arenaen steget til 666 ppm og VOC til 508 ppb. Temperaturen i arenaen fortsatte å synke frem til en time før konsertstart. Da endte den på 19.7°C. Etter dette steg temperaturen, og endte på 20.5°C før konsertstart.

Under første del av konserten, som varte fra kl. 20:00 til 21:15, økte temperaturen på matten med 0.4°C. CO₂ og VOC sank mot slutten av første del, der CO₂ nivået sank til 586 ppm og VOC-nivået sank til 394 ppb. I pausen mellom første og andre del av konserten, som varte fra 21:15 til 21:35, ble røykluker vest samt kjøreporter 9 og 14 åpnet. Umiddelbart etter at pausen startet, ble det målt en økende trend av både CO₂ og VOC nede på matten igjennom hele pausen. CO₂-nivået steg til 813 ppm og VOC nivået steg til 993 ppb. Temperaturen i arenaen fortsatte å stige igjennom pausen, men 30 minutter etter start av pausen ble det målt ett temperaturfall på 0.4°C ved matten.

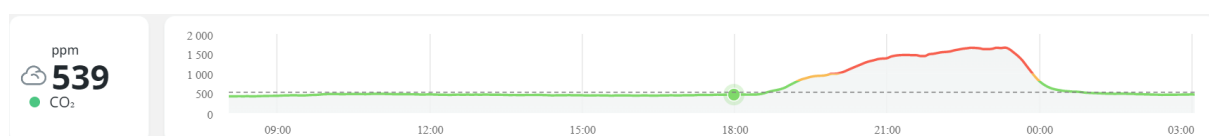
Under andre del av konserten, som varte fra kl. 21:35 til 23:10, fortsatte alle parametere å øke til de nådde en topp kl. 22:20. På dette tidspunkt hadde temperaturen steget til 21.6°C, CO₂-nivået hadde steget til 1040 ppm og VOC nivået hadde steget til 1330 ppb. CO₂- og VOC-nivå fluktuerte rundt dette nivået resten av konsertens varighet, mens temperaturen fortsatte å øke frem til konsertslutt kl. 23:10. Da publikum begynte å forlate arenaen, ble alle kjøreporter åpnet for å slippe ut publikum. Etter 25 minutter kunne effekten av den ekstra ventileringen og tom arena måles. Fra kl. 23:35 falt alle parametere raskt, der nivåene av CO₂ og VOC ble halvert innen kl. 00:15.

Den andre sensoren som registrerte målinger under konserten, stod i VIP-sonen som er i toppen av tribunen. Denne sensoren målte på samme måte som den nede på matten, stabilt lave nivåer frem til ca. en time før konsertstart. I motsetning til sensoren ved matten, målte VIP sensoren en jevn økning på alle målte parametere igjennom hele konserten. Før publikumsinnslipp målte VIP sensoren en temperatur på 20.7°C, et CO₂-nivå på 469 ppm og et VOC-nivå på 131 ppb.

Ved konsert start hadde alle de målte parameterne steget betydelig, der temperaturen hadde steget til 22.7°C, CO₂-nivået til 1015 ppm og VOC-nivået til 1051 ppb. Den ekstra ventilasjonen i pausen, kl. 21:15, førte ikke til en bedring i inneklimateet i toppen av tribunen, men førte til at parameterne flatet ut og ikke fortsatte å øke den neste halvtimen. Det ble også målt en temperaturnedgang etter ca. 30 minutter på 0.4°C. Under andre del av konserten fortsatte alle de målte parameterne å stige, der CO₂ VOC flatet ut kl. 22:35, på 1651 ppm i CO₂ og 1843 ppb i VOC. Temperaturen fortsatte å stige under hele del to av konserten, og endte på 25.8°C ved konsertens slutt. I toppen av tribunen ble det også målt en rask forbedring ca. 25 minutter etter konsertslutt.



Figur 49 – Temperaturplott fra VIP-sensor



Figur 50 – CO₂-plott fra VIP-sensor



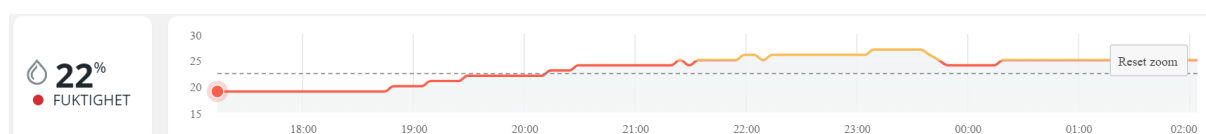
Figur 51 – VOC-plott fra VIP-sensor

6.4.4 Konklusjoner fra konsertmålingene

Sammenligning av målingene fra klimasensoren på matten og på toppen av tribunen, viste at det var en jevn forverring av inneklimate under konserten. Målingene av inneklimate nede på matten holdt seg lave i første halvdel av konserten, for så å vise en rask forverring av inneklimate etter pausen. Dette kan skyldes at luften nede på matten hadde en svært liten bevegelse, som fører til at CO₂ nivået og VOC nivået i nærhet av sensor ikke klarer å representere luftkvaliteten på matten. Under pausen ble det åpnet kjøreporter og publikum hadde også større bevegelse rundt i arenaen, noe som kan ha ført til bedre omrøring av luften i arenaen. Ved en bedre omrøringseffekt i arenaen, har dermed sensor på matten blitt eksponert for det faktiske inneklimate, og det ble raskt målt høyere verdier. VIP-sensoren i toppen av tribunen målte en jevn forverring av inneklimate under hele konserten. Det kan skyldes at den varmere forurensede luften fra matten steg lettere enn kald inntaksluft. Dette førte til at sensoren i topp av tribunen kontinuerlig ble eksponert for luften som ble presset opp fra matten av inntaksluften.

Ut ifra klimasensorenes måleresultater, kan det konkluderes med at den naturlige ventilasjonen i den konfigurasjonen som ble brukt under konserten ikke var optimal for å opprettholde et komfortabelt inneklimate. Sammenlignet med anbefalinger fra «kapittel 3 – Analyse av problemet», viser målingene fra konserten et betydelig høyere nivå enn anbefalt. Anbefalt nivå for CO₂ er lavere enn 1000 ppm, og helst under 700 ppm. Målingene fra klimasensorene viste at CO₂-nivået både på matten og i toppen av tribunen passerte 1000 ppm i løpet av konserten. Toppen av tribunen hadde et CO₂-nivå på over 1000 ppm under hele konserten. Anbefalte nivåer for VOC er under 250 ppb over tid, og aldri over 2000 ppb. Allerede ved konsertstart viste målingene at VOC nivået hadde passert anbefalt nivå, både på matten og i toppen av tribunen. På matten nådde nivået av VOC 1330 ppb på det verste. I toppen av tribunen nådde VOC-nivået nesten 2000ppb grensen da nivået endte på 1843 ppb.

Det kan konkluderes med at sjokk-lufting i pauser har en positiv effekt på inneklimate i arenaen. Det måles en treghet på ca. 30 minutter fra luftingen starter til effekt kan måles. Som følge av sjokklufting ble det oppnådd en liten temperaturnedgang. Det ble ikke oppnådd bedring i nivåene av CO₂ og VOC, men nivåene holdt seg stabilt i en liten periode som følge av sjokkluftingen. Luftfuktigheten i arenaen hadde en svak økning under konserten, men holdt seg i ned nederste sikte av anbefalt luftfuktighet med en snittfuktighet på 24% under konserten.



Figur 52 – Luftfuktighetsplott fra Spillersluse-sensor

6.5 Beregninger av potensielle luftmengder

De to største drivkreftene i naturlig ventilasjon, er drivtrykk skapt av temperaturforskjeller og trykkforskjeller skapt av vindstyrker og retninger. I denne oppgaven har temperatur vært en av parameterne som det har blitt satt søkelys på. Ved utregninger av potensielle luftmengder ble det sett nærmere på drivtrykk skapt av temperaturforskjeller i inne- og uteluft. Da det skal lages en Driftsplan i kapittel 7, for den naturlige ventilasjonen ved et sommer- og et vinterscenario, vil en estimert temperatur for sommer og vinter bli brukt i utregninger i dette kapittelet. Det vil også bli gjort utregninger ved temperaturforskjeller målt under tester og konsert, for å kunne sammenligne målte og beregnede luftmengder.

For å kunne sammenligne valgte scenarioer med CFD analyse i kapittel 6.6, vil det også utføres beregninger med lik konfigurasjon av lufttilførsel i arenaen under valgte scenarioer. Den naturlige ventilasjonen i arenaen fungerer som en naturlig fortrenningsventilasjon, hvor kjølig luft kommer inn ved matten og trenger varmere luft ut røyklukene. Hovedfaktoren ved slik ventilasjon er åpningsareal på lufttilførsel. Derfor er det valgt å fokusere på beregninger med lufttilførsel. [14, p. 237] Utregninger i dette kapittelet er basert på standardformler for måling av trykkforskjeller og luftmengder igjennom en begrenset åpning.

Formel for drivtrykk:

$$\Delta P = \rho * g * \Delta h * \left(\frac{273K}{T_o} - \frac{273K}{T_i} \right) [Pa]$$

ΔP = Drivtrykk i Pascal

g = Akselerasjon som følge av gravitasjon = konstant 9.81 m/s^2

ρ = Lufttetthet, generalisert ved $\rho = 1.292 * \frac{273}{T_o} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$

Δh = Høydeforskjell på inn og utluft i arenaen målt i meter = konstant 30 m

T_o = Utetemperatur i Kelvin

T_i = Innetemperatur i Kelvin

Formel for luftmengder som følge av drivtrykk:

$$Q = C_d * A_{op} \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} * 3600 \left[\frac{m^3}{t} \right]$$

Q = Luftmengde som følge av drivtrykk i m^3/t

C_d = "Discharge coefficient" som viser hvor mye av åpningsarealet som deltar i strømming

A_{op} = Åpningsareal = konstant 5.87 m^2 per spjeld

6.5.1 Sommer-scenario

Ved et sommer-scenario, tas det utgangspunkt i en utetemperatur på 20°C og en innetemperatur på 30°C. Lufttetthet ved 20°C er tilnærmet lik 1.2 kg/m³, og drivtrykket blir da:

$$\Delta P = 1.2 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 30m * \left(\frac{273K}{293K} - \frac{273K}{303K} \right)$$

$$\Delta P = 10.86 Pa$$

Ved arrangement på arenaen benyttes det som oftest bare spjeld over to kjøreporter. Dette gir et totalt åpningsareal på 5.87 m² * 2 = 11.74 m². Ved 100% åpning har spjeld en C_d på ca. 0.8. Med disse parameterne blir det beregnet en potensiell luftmengde inn i arenaen på sommerstid:

$$Q = 0.8 * 11.74m^2 \sqrt{\frac{2 * 10.86Pa}{1.2 \frac{kg}{m^3}}} * 3600$$

$$Q = 143\ 846 \text{ m}^3/t$$

6.5.2 Vinter-scenario

Ved et vinter-scenario, tas det utgangspunkt i en utetemperatur på 0°C. og en innetemperatur på 25°C. Lufttetthet ved 0°C er tilnærmet lik 1.293 kg/m³, og drivtrykket blir da:

$$\Delta P = 1.293 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 30m * \left(\frac{273K}{273K} - \frac{273K}{298K} \right)$$

$$\Delta P = 31.92 Pa$$

Ved arrangement på arenaen benyttes det som oftest bare spjeld over to kjøreporter. Dette gir et totalt åpningsareal på 5.87 m² * 2 = 11.74 m². Ved 100% åpning har spjeld en C_d på ca. 0.8. Med disse parameterne blir det beregnet en potensiell luftmengde inn i arenaen på vinterstid:

$$Q = 0.8 * 11.74m^2 \sqrt{\frac{2 * 31.92Pa}{1.293 \frac{kg}{m^3}}} * 3600$$

$$Q = 237\ 578 \text{ m}^3/t$$

6.5.3 Beregnede luftmengder under Test 3 - Arrangement

Under «Test 3 - Arrangement» ble det målt en utetemperatur på 6°C og en innetemperatur på 17°C ved teststart. Dette gir en lufttetthet på ca. 1.264 kg/m³, og gir et drivtrykk:

$$\Delta P = 1.264 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 30m * \left(\frac{273K}{279K} - \frac{273K}{290K} \right)$$

$$\Delta P = 13.80 Pa$$

Under testen ble det benyttet spjeld over to kjøreporter, slik det oftest gjøres under arrangement. Dette gir et totalt åpningsareal på 5.87 m² * 2 = 11.74 m². Ved 100% åpning har spjeld en C_d på ca. 0.8. Med disse parameterne blir det beregnet en potensiell luftmengde inn i arenaen på:

$$Q = 0.8 * 11.74m^2 \sqrt{\frac{2 * 13.80Pa}{1.264 \frac{kg}{m^3}}} * 3600$$

$$Q = 157\ 994 \text{ m}^3/t$$

6.5.4 Beregnede luftmengder under konsert med Hans Zimmer

Under konsert 29.april ble det målt en utetemperatur på 13°C og en innetemperatur på 20.5°C ved konsertstart. Dette gir en lufttetthet på ca. 1.233 kg/m³, og gir et drivtrykk:

$$\Delta P = 1.233 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 30m * \left(\frac{273K}{286K} - \frac{273K}{293.5K} \right)$$

$$\Delta P = 8.85 Pa$$

Under konserten ble det benyttet spjeld over tre kjøreporter, men effekten av et spjeld ble begrenset på grunn av sceneteppet. I beregningene tas det derfor utgangspunkt i to spjeld. Dette gir et totalt åpningsareal på 5.87 m² * 2 = 11.74 m². Ved 100% åpning har spjeld en C_d på ca. 0.8. Med disse parameterne blir det beregnet en potensiell luftmengde inn i arenaen fra start av konsert på:

$$Q = 0.8 * 11.74m^2 \sqrt{\frac{2 * 8.85Pa}{1.233 \frac{kg}{m^3}}} * 3600$$

$$Q = 128\ 104 \frac{m^3}{t}$$

6.5.5 Beregnede luftmengder ved optimal konfigurasjon

I utregningene over, er det tatt hensyn til hvilke spjeld som kan benyttes under konsert. Totalt er det 32.1 m² åpningsareal med spjeld og luftinntak i arenaen. Med korrigerende faktorer gir dette et effektivt åpningsareal på frisklufttilførsel på 26.6 m².

Dette gir en maks potensiell frisklufttilførsel ved sommer på:

$$Q = 26.6m^2 \sqrt{\frac{2 * 10.86Pa}{1.2 \frac{kg}{m^3}}} * 3600$$

$$Q = 407\ 402 \frac{m^3}{t}$$

Ved vinter kan det oppnås en maks potensiell friskluftstilførsel på:

$$Q = 26.6m^2 \sqrt{\frac{2 * 31.92Pa}{1.293 \frac{kg}{m^3}}} * 3600$$

$$Q = 698\ 457 \frac{m^3}{t}$$

6.5.6 Konklusjoner av beregninger

Som nevnt i «kapittel 3 – Analyse av problemet», trengs det i henhold til byggt teknisk forskrift en frisklufttilførsel inn i arenaen på 676 000 m³/t for å opprettholde et komfortabelt inn klima. Ut ifra beregnede arrangement-scenarier og beregninger med parametere fra «Test 3 - Arrangement», kan det konkluderes med at selv ved vinterstid, hvor den naturlige ventilasjonen har best effekt, når ikke den potensielle friskluftstilførselen nivået som er anbefalt i henhold til gjeldende byggt teknisk forskrift.

Ved en optimal konfigurasjon hvor alle spjeld og luftinntak er i bruk, er det mulig, ifølge beregningene i kapittel 6.5.4, å tilfredsstille kravene om frisklufttilførsel inn i arenaen. Selv om dette er en optimal konfigurasjon for frisklufttilførsel, er det ikke en optimal konfigurasjon for arrangementer. Under et arrangement vil luftinntaket på langsiden nord havne midt i scene området, noe som kan skape problemer for scene teknikk. I tillegg til luftinntak langsiden nord, vil spjeld fra kjøreporter på vestsiden av arenaen også få redusert effekt på grunn av scenetepper og sceneutstyr. Det vil si at selv om denne konfigurasjonen er teoretisk sett best, er den ikke gjennomførbart i praksis.

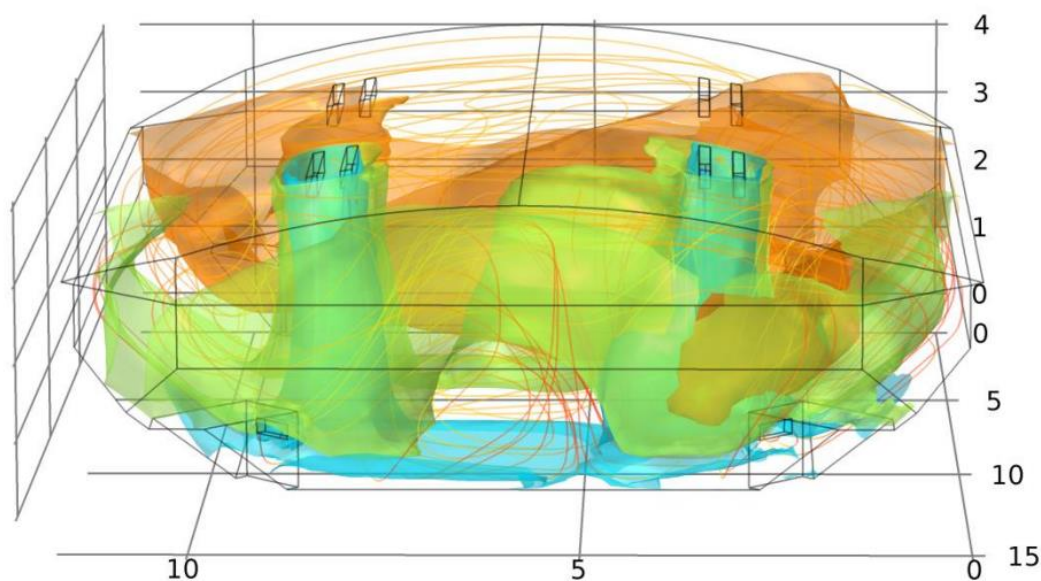
6.6 Sammenligning av CDF – analyse og Test-analyse

Før montering av lyd- og lysfeller samt oppgraderinger av spjeld i arenaen, ble det utført en «3D non-isoterm CFD-Beregning» for å modellere luftstrømninger og temperaturutviklinger i arenaen. Scenarioet som ble brukt i modellen var fire luftinntak i form av spjeld på bakkeplan og full åpning i alle røykluker med påmontert lyd og lys-feller på øst side av taket. Temperaturen på matten var satt til 35°C og utetemperaturen var satt til 18°C, noe som gir en temperaturforskjell på 17°C.

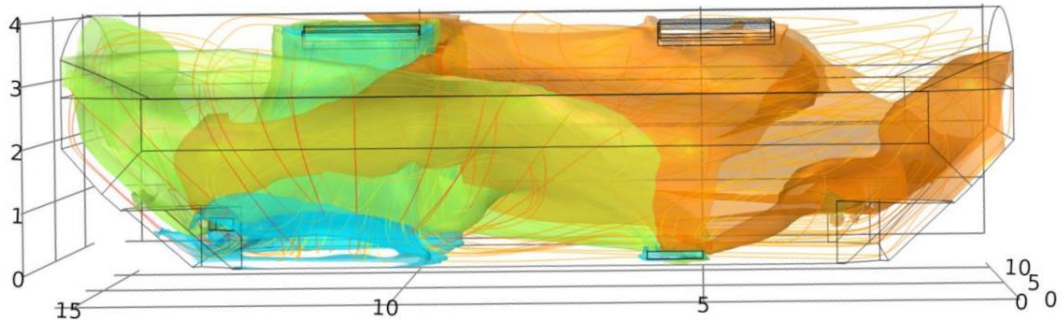
Resultatene i denne CFD-analysen var utgangspunktet for utførte tester. CFD-analysen ble utført ved en optimal konfigurasjon, hvor røykluker øst og alle luftinntak var åpne. Testene ble utført på lik måte som drift på Telenor Arena styrer ventilasjonen under konserter. Under denne konfigurasjonen er det færre åpne spjeld, og luftinntak på langside nord er ikke åpnet. Dette ble gjort for å oppnå et mer reelt bilde på hvordan inneklimate påvirkes under et arrangement.

6.6.1 Bilder fra CFD – analysen

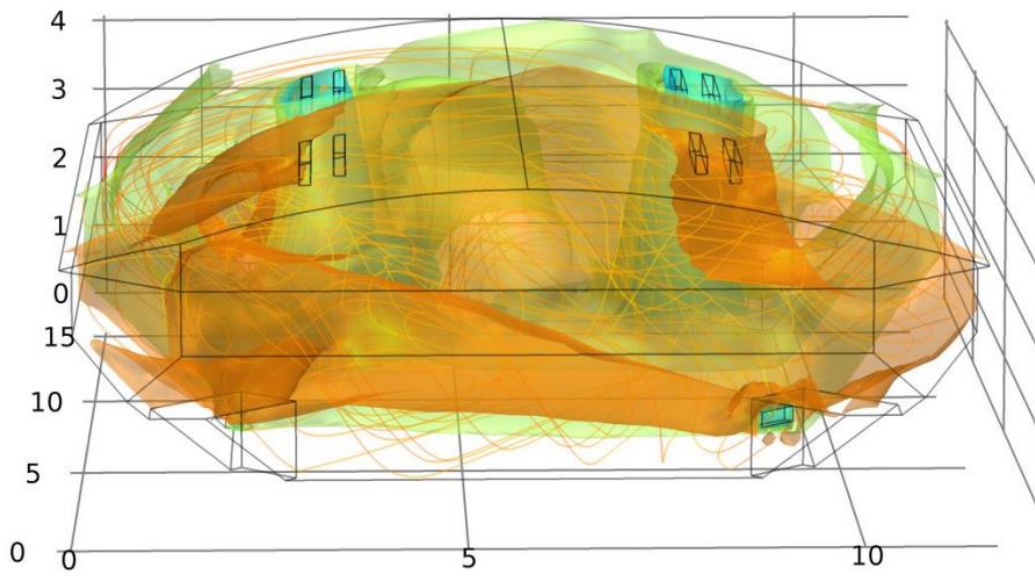
Bildene under viser «Iso-surface temperatur illustrasjoner» av Telenor Arena sett fra forskjellige perspektiver. Dvs. at de illustrerte overflatene representerer volum med lik temperatur, der blå = 18°C og rødt = 26°C. Temperaturen følger fargespekteret fra blått til rødt som gir rekkefølgen fra kaldest til varmest: Blå → Grønn → Gul → Oransje → Rød. Volumene mellom de fargelagte volumene har temperaturer mellom de fargede nivåene.



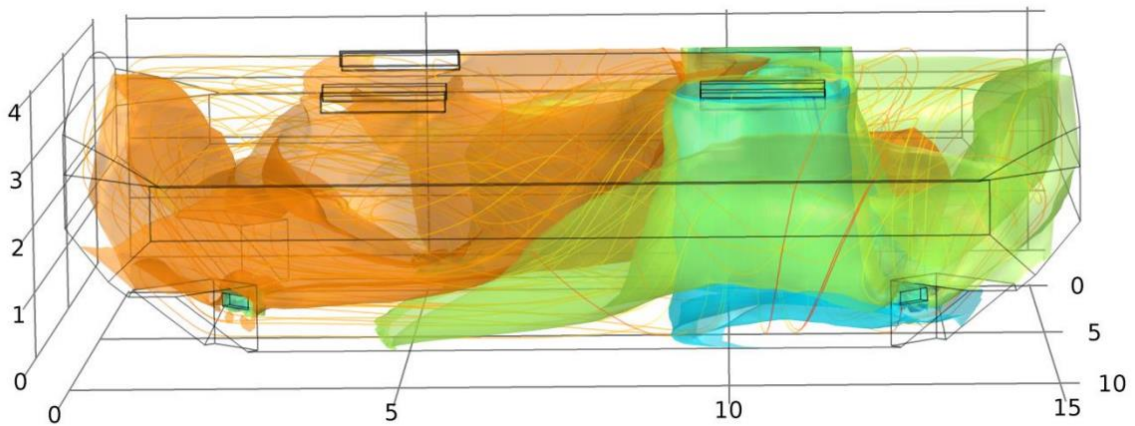
Figur 53 – Sett fra kortside øst



Figur 54 – Sett fra Langside Nord



Figur 55 – Sett fra Kortsid Vest



Figur 56 – Sett fra Langside Syd

6.6.2 Konklusjoner fra CFD – analysen

Ut ifra resultatene fra CFD – analysene ble det konkludert med at innklimaet, temperatur og CO₂-nivåene i arenaen vil bli forbedret ved installasjon av ventilasjonsmoduler med lyd og lys feller i røykluker og forbedret inntak i spjeld ved kjøreporter. Fra Iso-surface temperatur illustrasjonene ble det konkludert med at det vil oppnås en god omrøringseffekt i arenaen, noe som gir en temperaturendring i hele arenaen og med størst effekt i nærheten av ventilasjonslukene. Installasjon av luftinntak på langside nord ble foreslått som en absolutt nødvendighet for å oppnå bedre likevekt i åpningsareal for inn- og utluft.

Beregninger fra CFD – analysen estimerte en gjennomsnittlig lufthastighet i luftinntakene på 5.3 m/s, og gjennomsnittlig lufthastighet i røyklukene på 2.8 m/s. Disse lufthastighetene på inn- og utluft, samt lekkasje-luftstrømmer inn i arenaen, tilsvarer dette en likevekts-luftutskiftning i arenaen på 1 295 482 m³/t. Kravet for luftutskiftning beskrevet i kapittel 3 - Analyse av problemet er på 676 000 m³/t, dette gjør at det ved dette scenarioet gir den naturlige ventilasjonsløsningen tilstrekkelig med luftutskiftning i arenaen.

6.6.3 Forskjeller mellom beregnet og målt luftkvalitet

Under Test 3 - Arrangement som var utført på lik måte som under konserten, ble det målt vesentlig lavere lufthastigheter og luftmengder sammenlignet med CFD-analysen. Under testen var røykluker øst og spjeld i porter 1 og 18 i vest åpne, i motsetning til alle spjeld og luftinntak på langside nord i CFD-analysen. Under test var innetemperaturen på matten målt til 17.7°C og utetemperaturen målt til 6°C, som gir en temperaturforskjell på 11.7°C mot en temperaturforskjell på 17°C i CFD-analysen.

Lufthastigheter målt i kjøreporter ga en lufthastighet i inntaksluften på 0.35 m/s som gir en estimert luftmengde på 31 500 m³/t per port. Denne luftmengden er tilsvarende ca. en fjerdedel av den estimerte luftmengden fra spjeld i CFD-analysen som var på 129 548 m³/t per port. Lufthastigheter i røykluker under test målte en gjennomsnittlig lufthastighet på 0.57 m/s, noe som gir en total luftmengde i utluft på 200 070 m³/t. Dette gir en betydelig dårligere luftkvalitet sammenlignet med CFD-analysen, hvor det ble estimert en total luftutskiftning på 1 295 482 m³/t.

Sammenlignet med beregninger gjort i kapittel 6.5 - Beregninger av potensielle luftmengder, blir disse resultatene også betydelig lavere enn i CFD – analysen. I beregningene av potensielle luftmengder ble resultatet under optimale forhold og en konfigurasjon hvor alle luftinntak er åpne en frisklufttilførsel på 698 457 m³/t. Dette resultatet viser nesten halvparten av resultatet fra CFD-analysen som var på 1 295 482 m³/t. Den største forskjellen i beregnet frisklufttilførsel mellom disse to beregningene, ligger i CFD analysens estimering av lekasjestrømmer inn i arenaen samt høyere luftmengder igjennom luftinntak på langside nord.

Videoer fra GoPro-kameraene som filmet under test 3, viser at luften beveger seg ut av kjøreportene og brer seg utover i arenaen uten noen synlig oppdrift. Videoer fra VIP og port 18 viser at det oppnås en viss omrøringseffekt i arenaen, når røyken stiger 2-3 meter og skifter retning vestover etter å ha truffet vegg på kortsiden øst. CFD-analysen beregnet en bredere spredning av inntaksluften samt en betydelig oppdrift under øst røykluker fra matten opp mot taket som også fører til en bedre omrøringseffekt i arenaen.

Ut ifra resultater fra testene kan det konkluderes med at det er et stort sprik mellom estimert effekt fra den naturlige ventilasjonen i CFD-analysen og målt effektivitet under testene. CFD-analysen

baserer seg på at alle luftinntak kan brukes under et arrangement, i motsetning til testene der det er brukt en konfigurasjon med vesentlig mindre åpningsareal på luftinntak, som brukes under arrangementer.

7 Driftsplan

I driftsplanen vil det bli lagt frem viktige punkter som bør tas hensyn til ved ventilering før og under konserter. Den vil ta for seg treghetene som har blitt dokumentert i systemet, åpningsgrad på spjeld og luker, og værhenyn. Det vil bli levert to forskjellige driftsplaner, en kalt «sommerplan» og en kalt «vinterplan». Disse bygger på to forskjellige utetemperaturer. Basert på utetemperaturen som er den aktuelle konsertdagen, skal disse kunne brukes som en referanse med forskjellige tilpasninger.

7.1 Sommerplan

Under sommerplan er det tatt utgangspunkt i at det er 20°C ute og opphold. Det er tatt høyde for at det er en full arena og at scenen står plassert langs kortsiden vest, som er den sceneplasseringen som brukes mest.

7.1.1 Lufting før arrangement

Ved publikumsinnslipp vil kjøreportene stå åpne, og inntaksluft blir derfor ikke noe problem. En konsekvens blir at en kan åpne både røyklukene og spjeldene 100%. Etter våre målinger gir dette et så godt utgangspunkt som mulig. Her er det viktig at det ikke henger noen scenetepper for nærme kjøreport 1 og 18. Om disse henger for nærme kan det bli trekk, og føre til blafring i teppene. Dette skal ikke være et stort problem da innslipp pleier å gå gjennom port 9 og 14. På grunn av store tregheter i systemet er det anbefalt at luftingen starter minimum 30 minutter før publikum kommer.

7.1.2 Lufting under arrangement

Under arrangement burde to rader med røykluker og alle spjeld stå oppe, om mulig. Ved to åpne spjeld og røykluker åpne på 40%, vil luftutskiftningen være på 143 846 m³/t. Dette er under den anbefalte mengden på 676 000 m³/t. Derfor må så mye som mulig stå åpent. Målingene viser en god effekt av sjokklufting i pausene. Her bør alle røykluker og kjøreporter åpnes, for at man raskt skal få en utskiftning av mest mulig luft.

7.1.3 Viktigste punkter

- Sjekke nedbør og værradar.
- Starte lufting med røykluker, spjeld og kjøreporter minimum 30 minutter før innslipp.
- Konstant lufte med minimum to spjeld åpne, helst alle fire, og røykluker øst på 40%.
- Sjokk-lufte i pauser, med alle kjøreporter øst, røykluker og spjeld 100% åpne

7.2 Vinterplan

Under vinterplan er det tatt utgangspunkt i at det er 0°C ute og opphold. Det er tatt høyde for full arena og scenen står plassert langs kortsiden vest, som er den sceneplasseringen som brukes mest.

7.2.1 Lufting før arrangement

Før arrangement vil kjøreporter stå åpne under innslipp, og det vil bli nok inntaksluft. Her vil det i motsetning til sommerplan anbefales at kun de som brukes til innslipp åpnes. Dette er for å unngå at det blir for kaldt inne i lokalet. Det er anbefalt at vifter i taket står på, for å dytte den varme luften ned, og hindre for stor temperaturendring. Her er det viktig å følge med på termostatene slik at

temperaturen ikke synker for mye. Før noe åpnes, er det viktig å forsikre seg om at det ikke ligger snø på røyklukene. Det er på samme måte som på sommeren viktig at det startes å lufte tidlig nok. Her vil det også anbefales å starte 30 minutter før.

7.2.2 Lufting under arrangement

Under arrangement på vinteren anbefales det å ha kontinuerlig utskiftning av luft, men i en mye mindre grad enn på sommeren. Med to åpne spjeld og røykluker øst åpne, vil luftutskiftningen være på 237 578 m³/t. Dette er ved 25°C inne. Selv om man vil ønske å skifte ut så mye luft som mulig, er det viktigere at det ikke blir for kaldt inne. Man burde derfor passe på innetemperatur mens man lufte. Under sjokk-lufting i pausene kan man tåle et lite fall i temperatur, og man burde derfor lufte så mye som mulig.

7.2.3 Viktigste punkter

- Sjekke nedbør og værradar.
- Starte lufting med røykluker, spjeld og kjøreporter minimum 30 minutter før innslipp.
- Konstant lufte med minimum to spjeld åpne, helst alle fire, og røykluker øst. Her må åpning på røykluker varieres basert på innetemperatur, helst mellom 10%-40%.
- Sjokk-lufte i pauser, med alle kjøreporter øst, røykluker og spjeld 100% åpne.

8 Diskusjon

Første del av fremdriftsplanen ble fulgt, mens den andre delen ble endret flere ganger underveis. Under første befaring på Telenor Arena ble det oppdaget at det ikke fantes noe mekanisk ventilasjon i arena-delen, kun i kontordelen. Da det kun var arenaen oppgaven skulle handle om, måtte reguleringsplanen endres til en driftsplan. Dette førte til at tidsbruken ble omfordelt, slik at måle- og analysedelen fikk større plass. Siden denne driftsplanen ble mindre komplisert enn antatt, tok den også mindre tid. Tidsbruken totalt ble undervurdert da fremdriftsplanen ble laget. Det har gått med betraktelig flere timer enn først planlagt.

Det har også vært forsinkelser i prosjektet grunnet korona-pandemien. Telenor Arena har hatt flere utsettelse og avlysninger av arrangementer, noe som har ført til at målinger med mennesker til stede måtte bli utsatt fra slutten av mars, til 29. april. Under testuken måtte alle tester flyttes til kvelden, grunnet arbeid i arenaen som medførte at kjøreportene var åpne.

Det oppstod noen problemer med sensorer som falt ut under testing, og under arrangement i ettertid. Klimasensorene har stått og logget fra de ble satt opp i slutten av februar, og det er planlagt at de skal fjernes 30. mai. Noen av problemene med disse kunne nok vært unngått dersom det hadde vært Ethernet-uttak til hub i arenaen. Under vår gjennomføring av testingen måtte Airthings-hub sitte montert på et møterom, adskilt fra arenaen av en betongvegg. Det var også et problem med sensorer som falt ut under konserten, dette var mest sannsynlig på grunn av interferens.

CSV-filene fra Airthings ga et uventet problem, da tidsstemplene var ulike i CSV-filene og på Airthings-dashbordet. Disse måtte derfor sammenlignes med dashbordet for å finne ut hvor stor denne differansen var. Etter at differansen ble funnet ga CSV-filene også fornuftige resultater.

Optimalt sett skulle det blitt gjort flere tester på Telenor Arena, med fullsatt sal og flere scenekonfigurasjoner. I tillegg hadde det vært nyttig å teste i flere værforhold. Dette var ikke mulig grunnet pandemien, og disse resultatene kunne kun estimeres ved hjelp av utregninger.

Testene viser at det er inntaksluft som er begrensende, og at røyklukene derfor ikke kan åpnes fullt. Åpnes disse 100% vil luften dras inn fra områder med lekkasjer, som gliper under kjøreporter, men også sluk. Dette fører til dårligere luft, og til kloakklukt i arenaen.

Da alle målinger og beregninger viser at det er inntaksluft som begrenser ventileringen, vil det anbefales å øke inntaksluften. Dette kan gjøres ved enten å øke spjeldstørrelser, eller å legge inn mekanisk ventilasjon. Det enkleste og mest forutsigbare vil være å legge inn mekanisk ventilasjon, da denne kan brukes ved alle værforhold og er styrbart. Mekanisk ventilasjon vil gjøre at arenaen kan kjøles ned mens det regner. Det vil være mulig å legge ventilasjonskanaler i toppen av langsiden, noe som vil skape en «fossefallseffekt» med kald luft nedover tribunen. På taket av kontorbygget, som er langs sør-siden er det allerede ventilasjons-aggregater, og det vil være mulig å legge kanaler derfra.

Det vil i tillegg anbefales å montere opp flere sensorer, slik at innklimaet i arenaen kan bli overvåket mer nøyaktig enn i dagens SD-anlegg. Uten disse vil det ikke hjelpe med planer for styring, da man ikke kan registrere når spjeld og luker bør åpnes og lukkes. Disse sensorene bør være kablet, slik at man ikke trenger bekymre seg for at de skal miste kontakten under konserter.

Risikolisten som ble utformet i starten av prosjektet skulle ta for seg ting som kunne gå galt, og tiltak som kunne rett på dette. Det var flere av tingene på risikolisten som inntraff. Blant annet førte korona

til både kansellerte konserter og det oppstod smitte i gruppen. Det ble utført arbeid inne i arenaen under testuken, noe som også førte til at testene måtte flyttes til ettermiddag og kveld. Da det var utformet en risikoliste med tiltak tidlig i prosjektet, ble det ikke store problemer med å endre planer og jobbe seg rundt problemene som oppsto.

9 Konklusjon

Utfra resultatene fra tester og målingene under konserten med Hans Zimmer, kan det konkluderes med at **dagens ventilasjonsløsning gjør det utfordrende å oppnå et komfortabelt inneklime over tid ved arrangementer**. Utskiftningen av luft er ikke så god som den burde være med en fullsatt arena, og målingene viser at det er lavere utskiftning av luft enn man burde forvente inne i en konsertarena. Dette fører til høye nivåer av CO₂ og VOC. Temperaturnivåer under arrangementer er høye, men innenfor spekteret av komfortabelt inneklime ved lav til ingen aktivitet.

Resultatene fra prosjektet viser at Telenor Arena sliter med flere av de vanlige ulempene med naturlig ventilasjon. Deriblant at de er veldig væravhengige, det er ingen kontroll på kvalitet av luften som kommer inn, og luften inn kan være kald eller varm avhengig av utetemperatur.

Resultatene fra testing og beregninger viser at forskjellene i åpningsareal på inn- og utluft senker effektiviteten til den naturlige ventilasjonen betydelig. Ved dagens løsning hvor det oftest kun kan brukes to sett med spjeld, må åpningsvinkelen til røykluker reduseres til ca. 40%. Denne reduksjonen er viktig for at undertrykket skapt av forskjellene i åpningsareal ikke skal føre til inntaksluft fra andre steder enn friskluft.

For å utbedre eksisterende ventilasjonsløsning er det flere tiltak som anbefales:

- Øke åpningsareal på frisklufttilførsel
 - Øke spjeldstørrelse i kjøreporter
 - Bygge om lufttilførsel på langside nord slik at den kan brukes under arrangementer
 - Lage en skillevegg løsning med lysfeller i kjøreporter slik at porter kan stå åpne under arrangement.
 - Dersom man øker inntaksarealet, kan man også åpne røyklukene mer og få en høyere grad av utskiftning av luften.
- Installere mekanisk ventilasjon
 - Montere ventilasjonskanaler fra tak på kontorbygg ned til over tribune for bedre frisklufttilførsel og omrøringseffekt i arenaen.
 - Montere vifter på spjeld i kjøreporter for å øke effektiviteten til inntaksluft. Med denne løsningen bør det og installeres ventilasjonskanaler fra spjeld ut i arenaen for å hindre trekk på publikum ved portene.
 - Montere vifter på luftinntak langside nord, hvis luftinntak blir tilpasset slik at den kan brukes under arrangement.
- Installere faste sensorer for overvåking
 - Installere flere faste klimasensorer for å bedre kunne overvåke inneklime i arenaen med de forskjellige sonene og høydene. For pålitelighet bør disse være kablede.
 - Installere luftstrøms-målere på friskluftstilførselen for å overvåke utskifting av luft i arenaen.

10 Vedlegg

Vedlegg ligger ved som zip fil, denne inneholder:

- Fremdriftsplan
- Python-script
- Testprosedyre

11 Referanser

- [1] 'Telenor Arena | Om Arenaen', *Telenor Arena*. <https://telenorarena.no/no/om-arenaen> (accessed May 06, 2022).
- [2] 'Om oss', *Energima*. <https://energima.no/om-oss> (accessed Feb. 14, 2022).
- [3] 'Direktoratet for byggkvalitet'. <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/i/13-3/> (accessed May 10, 2022).
- [4] 'Direktoratet for byggkvalitet'. <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/iii/13-5/> (accessed May 10, 2022).
- [5] 'Radon'. <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/straling/radon/> (accessed Apr. 28, 2022).
- [6] P. S. av: R. Becher, 'Råd for godt inneklime i boligen', *Folkehelseinstituttet*. <https://www.fhi.no/ml/miljo/inneklime/fremhevede-artikler-inneklime-og-helse/godt-inneklime-brosjyre/> (accessed Apr. 28, 2022).
- [7] V. V. Tran, D. Park, and Y.-C. Lee, 'Indoor Air Pollution, Related Human Diseases, and Recent Trends in the Control and Improvement of Indoor Air Quality', *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 17, no. 8, Art. no. 8, Jan. 2020, doi: 10.3390/ijerph17082927.
- [8] 'pageAsPdf.pdf'. Accessed: Apr. 30, 2022. [Online]. Available: <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/inneklime/pageAsPdf?showAsImage=true>
- [9] 'Hva er VOC-er? Hvordan de påvirker helsa og hvorfor du bør foreta målinger | Airthings'. <https://www.airthings.com/no/hva-er-voc> (accessed Apr. 28, 2022).
- [10] 'WindSonic-Web-Manual.pdf'. Accessed: Mar. 18, 2022. [Online]. Available: https://hvl365-my.sharepoint.com/personal/585104_stud_hvl_no/Documents/Bacheloroppgave/05_Ultralyd/WindSonic-Web-Manual.pdf
- [11] 'WavePlus Product Sheet.pdf'. Accessed: Mar. 18, 2022. [Online]. Available: <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/4406702/Website/Product%20Sheets/Wave%20Plus/WavePlus%20Product%20Sheet.pdf>

[12] 'FT kistock KP110 RF.pdf'. Accessed: Mar. 24, 2022. [Online]. Available: <https://www.instrumentcompaniet.no/files/NyeKimo/FT%20kistock%20KP110%20RF.pdf>

[13] 'Værvarsel for Fornebu', Yr. <https://www.yr.no/nb/værvarsel/daglig-tabell/1-2261640/Norge/Viken/Bærum/Fornebu> (accessed Apr. 29, 2022).

[14] L. I. Stensaas, *Ventilasjonsteknikk 1: Grunnlaget og systemer*, 4. Edition. Oslo: Skarland press AS, 2008.

Appendiks A Forkortelser og ordforklaringer

CFD	Computational Fluid Dynamics
3D non-isoterm CFD-analyse	CFD-analyse med gitte åpningsareal på inn og utluft, hvor temperatur ikke er konstant. Temperaturen i volumet representeres ved flater med gitte farger for temperaturer. Luftstrømmer visualiseres ved strømningspiler med fargekodet hastigheter
VOC	Flyktige organiske forbindelser
ASHRAE	The American Society of Heat, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
TEK17	Den siste byggt tekniske forskriften
Interferens	Forstyrrelser fra signaler som sender bølgefrequens
Omrøringseffekt	Kald tilluft fører til turbulens og bevegelse i luften for å fordele den nye luften

Appendiks B Prosjektledelse og styring

B.1 Prosjektorganisasjon

Arbeidet ble fordelt mellom begge gruppemedlemmer. Det var ingen utnevnt prosjektleder, og avgjørelser har blitt tatt i felleskap.

B.2 Fremdriftsplan

Se vedlegg for komplett fremdriftsplan

Tidsplan Bachelor, B022EB-30				Dato
Nr.	Aktivitet	Startdato	Sluttdato	Timer pr. Student
1	Prosjekt start og Veileder møter	10-Jan	14-Jan	12.50
2	Forstudie	10-Jan	07-Feb	75.00
3	Metode Undervisning	14-Jan	25-Mar	12.00
4	Befaring og opplæring hos Energima	17-Jan	18-Jan	17.00
5	Lage programmer for bearbeiding av sensordata	24-Jan	04-Feb	7.50
6	Bestemme sensorer og strømforsyning	31-Jan	04-Feb	7.50
7	Planlegging av sensor plassering og montering	07-Feb	18-Feb	50.00
8	Montering av sensorer på Telenor Arena	28-Feb	04-Mar	37.50
9	Innehenting av sensordata	07-Mar	08-Apr	15.00
10	Midveis Presentasjon	21-Mar	01-Apr	10.00
11	Konserter på Telenor Arena	29-Apr	30-Apr	12.00
12	Bruke målinger til å lage driftsplaner	30-Apr	30-May	50.00
13	Ferdigstille oppgave	11-Apr	30-May	100.00
19	Bachelor Oppgave Innlevering	30-May	30-May	
20	Bachelor Oppgave Presentasjon	06-Jun	10-Jun	
21	EXPO	15-Jun	15-Jun	
22	Avslutningsfest	16-Jun	16-Jun	
Totalt Antall Planlagte Timer pr. Student				406.00

Figur 57 - Fremdriftsplan

B.3 Risikoliste

Risikoer	Konsekvens	Sannsynlighet	Mulige tiltak
Koronasykdom eller karantene	Moderat	Høy	Rapportskriving og arbeid som kan gjøres hjemmefra
Nedstengt arena pga. koronatiltak	Høy	Moderat	Endre oppgave til en ren analyse
Ikke mulig å få tak i sensorer	Høy	Lav	Låne sensorer midlertidig fra et annet prosjekt
Arena er i bruk mens noen tester pågår	Moderat	Moderat	Flytte testtidspunkt
Tap av data	Høy	Lav	Lagre alt av data i skyløsning
Feil med sensorer	Moderat	Lav	Teste sensorer før bruk

Appendiks C Figurliste

Figur 1 – Telenor Arena	7
Figur 2 – Energima logo	7
Figur 3 – Oversikts bilde av arena fra Sky-losje over VIP sone	14
Figur 4 – Røykluker med lyd- og lysfeller	15
Figur 5 – Røykluker uten lyd- og lysfeller	15
Figur 6 – Spjeld over kjøreporter	15
Figur 7 – Sensorplassering Test 1 - Spjeld	16
Figur 8 – Sensorplassering Test 2 – Røykluke og Test 3 – Arrangement	16
Figur 9 – Sensor port 9	18
Figur 10 – Sensor port 14	18
Figur 11 – Sensor Testsirkel	18
Figur 12 – Sensor Gangbro	18
Figur 13 – Sensor VIP-sone	18
Figur 14 – Sensor Spillersluse	19
Figur 15 – Sensor VIP	19
Figur 16 – Sensor Gangbro	19
Figur 17 – Sensor Øst	19
Figur 18 – Sensor VIP	19
Figur 19 – Sensor Spillersluse	19
Figur 20 – Flyfoto av Telenor Arena	20
Figur 21 – Plott av sensordata fra sensor W3 Sør	22
Figur 22 – Plott av sensordata fra sensor W10 i Port 9	23
Figur 23 – Plott av sensordata fra sensor W9 i Port 14	23
Figur 24 – Temperaturplott fra Spillersluse-sensor	23
Figur 25 – CO ₂ -plott fra Spillersluse-sensor	23
Figur 26 – VOC-plott fra Spillersluse-sensor	23
Figur 27 – Plott av sensordata fra sensor W7 Vest	24
Figur 28 – Plott av sensordata fra sensor W9 Scene	24
Figur 29 – Plott av sensordata fra sensor W9 Scene	25
Figur 30 – Temperaturplott fra Spillersluse-sensor	25
Figur 31 – CO ₂ -plott fra Spillersluse-sensor	25
Figur 32 – VOC-plott fra Spillersluse-sensor	25
Figur 33 – Plott av sensordata fra sensor W10 Port 18	26
Figur 34 – Plott av sensordata fra sensor W9 Bak scene	27
Figur 35 – Plott av sensordata fra sensor W2 Øst	27
Figur 36 – Plott av sensordata fra sensor W3 Sør	27
Figur 37 – Plott av sensordata fra sensor W7 Vest	27
Figur 38 – Temperaturplott fra Spillersluse-sensor	28
Figur 39 – CO ₂ -plott fra Spillersluse-sensor	28
Figur 40 – VOC-plott fra Spillersluse-sensor	28
Figur 41 – Luftfuktighetsplott fra Spillersluse-sensor	28
Figur 42 – Bilde av Port 18 i start av Test 3 med røyk	30
Figur 43 – Bilde av røyk som treffer kortside vest	30

Figur 44 – Bilde av tak med røykluker under Test 3.....	30
Figur 45 – Modell av arena under konsert med sensorplassering	31
Figur 46 – Temperaturplott fra Spillersluse-sensor.....	32
Figur 47 – CO ₂ -plott fra Spillersluse-sensor.....	32
Figur 48 – VOC-plott fra Spillersluse-sensor.....	32
Figur 49 – Temperaturplott fra VIP-sensor	33
Figur 50 – CO ₂ -plott fra VIP-sensor	33
Figur 51 – VOC-plott fra VIP-sensor	33
Figur 52 – Luftfuktighetsplott fra Spillersluse-sensor	34
Figur 53 – Sett fra kortside øst	38
Figur 54 – Sett fra Langside Nord	39
Figur 55 – Sett fra Kortside Vest.....	39
Figur 56 – Sett fra Langside Syd	39
Figur 57 - Fremdriftsplan.....	48

Appendiks D GoProvideoer av røyk

<https://www.youtube.com/watch?v=R->

[wZX_GkweE&list=PLRhOGr2ssqPxTVoY6fETARALwF02PefiA&index=1&t=0s](https://www.youtube.com/watch?v=R-wZX_GkweE&list=PLRhOGr2ssqPxTVoY6fETARALwF02PefiA&index=1&t=0s)