



Bourla Covid testevents mei 2021.

Verslag onderzoek

Basis

Tijdens 3 dagen wordt de voorstelling “April” van Guy Cassiers opgevoerd voor een steeds grotere zaalbezetting. Nadien volgen nog 2 voorstellingen “The Sheep Song” van FC Bergman. Tijdens de voorstellingen wordt de luchtkwaliteit in de zaal gemeten en geanalyseerd.

Overzicht gebruikte meettoestellen:

4 Telaire 7001 CO2 / Temperatuur meettoestellen met eigen voeding via stroomadaptor.

2 loggers onset HOBO U12-006 voor het inlezen van externe signalen.

2 loggers onset HOBO U12-013 voor het inlezen van externe signalen en eigen temperatuur en RV meting.

HOBO20793967 – wordt geplaatst in de rozas boven in de zaal – Temp/RV/CO2

HOBO20793965 – wordt geplaatst in de foyer voor de meting van verse lucht – Temp/RV/CO2

HOBO TT068a – meet CO2 in de zaal parterre

HOBO TT068b – meet CO2 in de zaal 1^{ste} balkon

Fluke Airmeter 975 – zal luchtkwaliteit meten op de scene

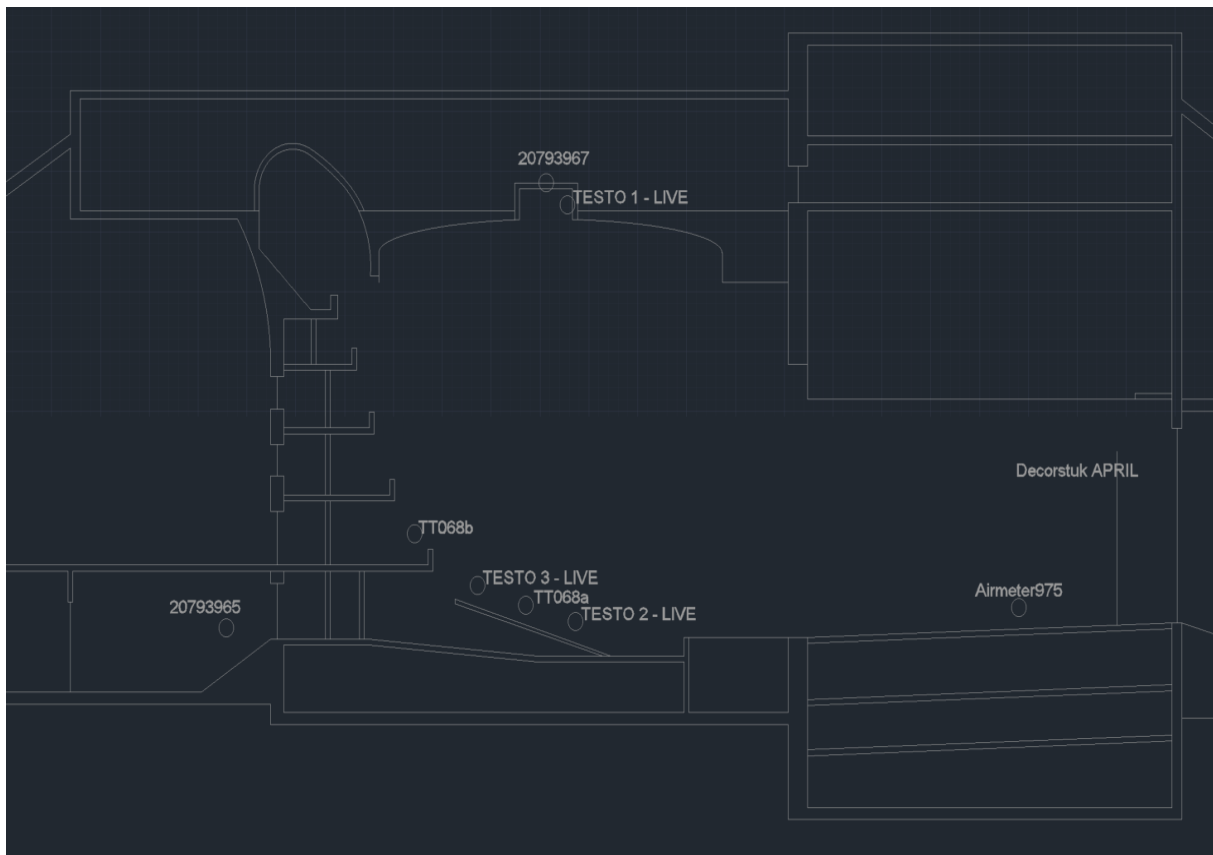
Bourla heeft in de zaal 3 meettoestellen staan die live uitgelezen worden en die signalen uitsturen:

- 900 ppm – waarschuwing (streefdoel bereikt)
- 1200 ppm – alarmniveau actie ondernemen

(waarden in lijn met adviezen werkgroep ventilatie)

Adviezen HGR gaan uit van streefdoel van 800 ppm CO2 of 50 m³/h.persoon.

Inplanting van de meettoestellen



Duiding van het gebouw



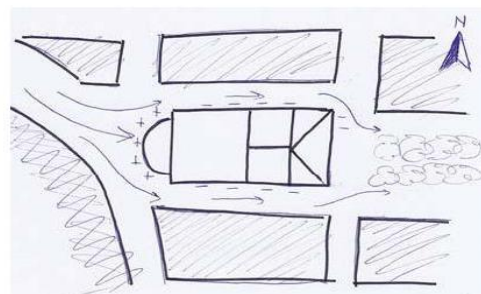
Aan de linkerzijde (west) is de foyer of rotonde zijde Komedielaats. Dit is de hoofdingang van het gebouw. Aan de rechterzijde (oost) hebben we de Graanmarkt, hier is de artiesteningang en toelevering van decorstukken op de scene. Vanuit de inplanting op straatniveau weten we dat de wind rond het gebouw vanuit 2 richtingen kan komen.

3.6 Duurzaamheid en energiehuishouding

3.6.1 Inplanting – passief energieaanbod

De Orgelstraat en Komedieplaats zullen op straatniveau als windtunnel fungeren en zorgen voor een venturi-effect. Door de overheersende westenwind zal er een stuwdruk ontstaan op de inkomdeuren en komt er een zuigkracht op het schrijnwerk van de langse gevels.

Het gevel- en dakprofiel zullen een deel van de wind naar boven stuwen waardoor een lifteffect of onderdruk ontstaat op het dak. Dit effect zal er voor zorgen dat er een verhoogde infiltratiedruk komt op het schrijnwerk van de foyer en de ontvangstruimte voor de zaal. Via het dak zal bijkomend lucht ontsnappen uit het gebouw.

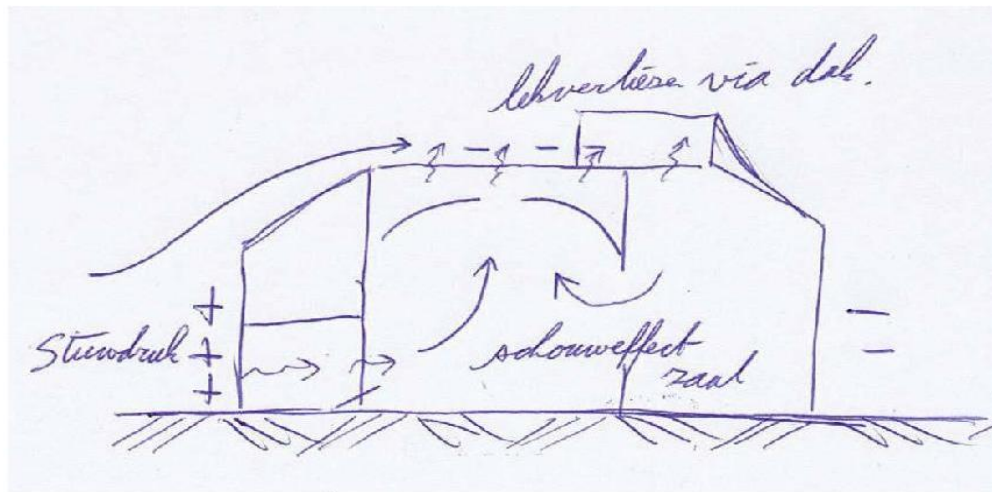


3.6.2. Luchtverplaatsing

Het gebouw is een grote lege doos met aanzienlijke afmetingen waarin een eigen microklimaat ontstaat. Het schouweffect in de zaal zal een opwaardse luchtstroom teweeg brengen. Dit schouweffect ontstaat door het verschil in temperatuur tussen vloer en plafond waardoor warme lucht opstijgt. Dit effect wordt aangewakkerd door de stuwdruk op de voorzijde van het gebouw en de onderdruk thv het dak. Het temperatuurverschil tussen het podium en

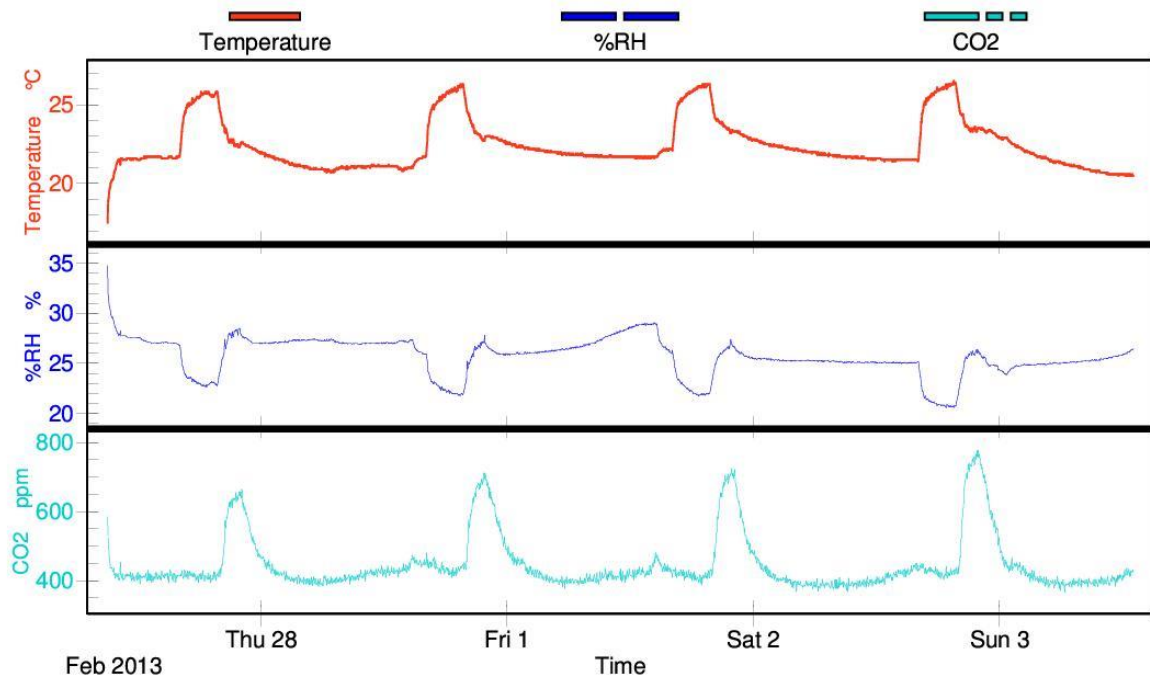
de zaal zorgt ook hier voor luchtstromingen die het gebruik van de zaal zullen beïnvloeden. Koude lucht zal over het podium in de zaal stromen waardoor de eerst rijen en de spelers tocht ondervinden.

Een deel van deze luchtverplaatsingen zijn het gevolg van de hoogte van de ruimte en de fysische wetmatigheden tussen lucht volumes van verschillende temperatuur (Balcomb) .



Historische meetgegevens luchtkwaliteit zaal feb/maart 2013

FLUKE Logging Form		Meter ID: FLUKE 975 1F 1251016
Start Time 27/02/2013 9:03:42		Keyword:
Stop Time 3/03/2013 13:03:42		Form Saved Time:
Elapsed Time 100:00:00		Upload Time: 4/03/2013 9:54:59
Interval 0:03:00		
Total readings 2001		Test Purpose:
Session Name Logged Session 13		
	Max Time	Max
Temperature	2/03/2013 19:33:42	26,5 °C
Wet Bulb	1/03/2013 19:36:42	13,7 °C
Dew Point	27/02/2013 20:27:42	3,4 °C
%RH	27/02/2013 9:03:42	34,8 %
CO	27/02/2013 9:03:42	0 ppm

Graph Name: 

Comments

	Temperature	Wet Bulb	Dew Point	%RH	CO	CO2	Timestamp
1991	20,6 °C	10,5 °C	0,4 °C	26,1 %	0 ppm	428 ppm	3/03/2013 12:33:42
1992	20,6 °C	10,6 °C	0,5 °C	26,2 %	0 ppm	433 ppm	3/03/2013 12:36:42
1993	20,6 °C	10,5 °C	0,4 °C	26,1 %	0 ppm	413 ppm	3/03/2013 12:39:42
1994	20,5 °C	10,5 °C	0,4 °C	26,2 %	0 ppm	424 ppm	3/03/2013 12:42:42
1995	20,6 °C	10,6 °C	0,5 °C	26,2 %	0 ppm	413 ppm	3/03/2013 12:45:42
1996	20,5 °C	10,5 °C	0,5 °C	26,3 %	0 ppm	428 ppm	3/03/2013 12:48:42
1997	20,5 °C	10,5 °C	0,5 °C	26,3 %	0 ppm	424 ppm	3/03/2013 12:51:42
1998	20,5 °C	10,5 °C	0,5 °C	26,3 %	0 ppm	427 ppm	3/03/2013 12:54:42
1999	20,6 °C	10,6 °C	0,6 °C	26,4 %	0 ppm	426 ppm	3/03/2013 12:57:42
2000	20,5 °C	10,5 °C	0,5 °C	26,4 %	0 ppm	431 ppm	3/03/2013 13:00:42
2001	20,5 °C	10,5 °C	0,5 °C	26,4 %	0 ppm	426 ppm	3/03/2013 13:03:42

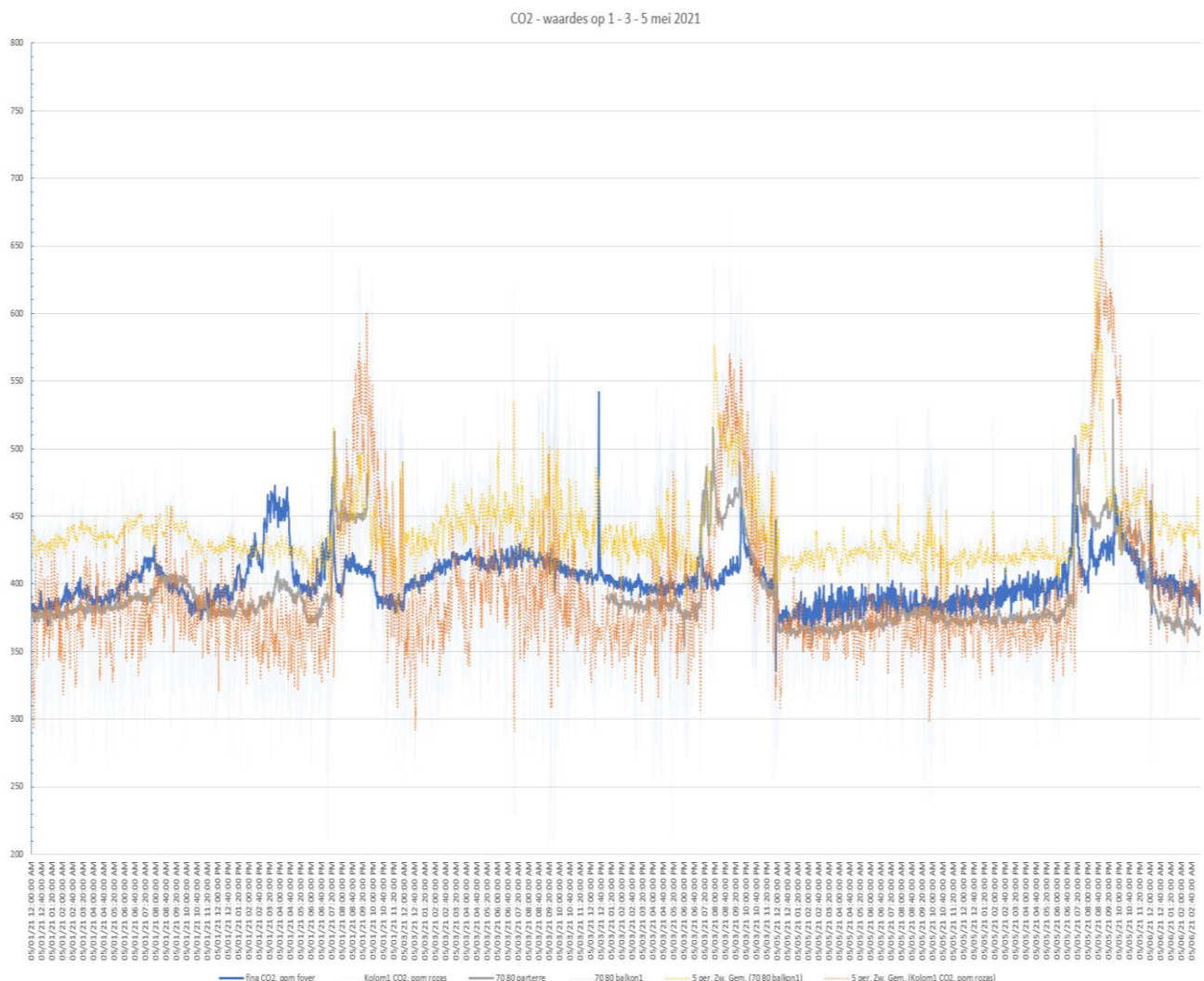
De voorstelling van zaterdag 2 maart 2013 was de drukste voorstelling met 396 toeschouwers. De CO2 meting boven in de zaal piekte toen op 778 ppm CO2 1u48 na start van de voorstelling. De buitenluchtkwaliteit werd toen ingeschat op 425 ppm CO2 op basis van het gemiddelde CO2 niveau 1 uur voor de voorstelling.

FFW naar 2021

In de huidige opstelling zullen we fijnmaziger meten om exact te natuurlijke ventilatie van de zaal te monitoren. We zullen nu ook uitsluiten of de luchtkwaliteit in de zaal op stoelniveau anders is dan tegen het plafond.

Op niveau van de toeschouwers worden 2 meettoestellen met live uitlezing van CO2 voorzien om mechanisch in te grijpen wanneer nodig. Onze inschatting is dat we onder de 200 personen nooit zullen moeten ingrijpen.

Uitlezing loggers van 3 voorstellingen “APRIL”



De zaalbezetting tijdens de 3 voorstellingen bedroeg 98 / 127 / 176 personen.

Bespreking voorstelling 1 mei – 98 toeschouwers

De hoogste CO2 waarde gemeten tijdens de eerste voorstelling met 98 toeschouwers, waarvan de meeste mensen op de parterre en 6 à 7 mensen plaats namen op het eerste balkon, bedroeg 637 ppm om 21u09 ter hoogte van het rozas boven in het plafond van de zaal. De voorstelling startte om 20u.

De gemiddelde CO2 waarde in de zaal bedroeg 451 ppm tijdens de hele voorstelling met vooral uitschieters tot 480 en 512 voorafgaand aan de voorstelling en tijdens het applaus na de voorstelling. Tijdens de voorstelling zelf lag het CO2 niveau in de zaal op een lager stationair niveau.

De verse lucht die via de foyer in de zaal stroomt had een gemiddelde CO2 waarde van 411 ppm. De menselijk activiteit in de zaal resulteert in een gemiddelde stijging van 40 ppm CO2.

In de uren voorafgaand aan de voorstelling zien we dat de variatie in CO2 buiten en binnen in de zaal in een golvende beweging gaat (ochtendspits, ...) de golf in de zaal ijlt 46 à 57 minuten na op de foyer wat wijst op een doorstroomtijd van ongeveer 45 à 60 minuten of een ventilatievoud van 1,33 à 1 voor de volledige zaal.

We kunnen stellen dat de luchtkwaliteit in de zaal op stoelniveau beter is dan boven in de zaal waar de extractie plaats vindt.

De eerste voorstelling met lage bezetting is dus sterk onder de richtwaarde van 900 ppm CO2 gebleven.

Bespreking voorstelling 3 mei – 127 toeschouwers

De hoogste CO2 waarde gemeten tijdens de voorstelling bedroeg 692 ppm om 21u01 ter hoogte van het rozas bovenin de zaal.

De gemiddelde CO2 waarde in de zaal bedroeg 459 ppm tijdens de hele voorstelling met vooral uitschieters tot 490 voorafgaand aan de voorstelling en tijdens het applaus.

De gemiddelde CO2 waarde op het eerste balkon bedroeg 509 ppm tijdens de hele voorstelling met vooral uitschieters tot 594 na 1u15min voorstelling.

De lucht die in de zaal stroomt via de foyer had een gemiddelde CO2 waarde van 411 ppm. Dit resulteert in een gemiddelde stijging van 48 ppm CO2 op de parterre en 98 ppm CO2 op het eerste balkon.

Ook nu kunnen we stellen dat de luchtkwaliteit in de zaal en op balkon op stoelniveau beter is dan boven in de zaal waar de extractie plaats vindt.

De tweede voorstelling met iets hogere bezetting is dus sterk onder de richtwaarde van 900 ppm CO2 gebleven.

Bespreking voorstelling 5 mei – 176 toeschouwers

De hoogste CO2 waarde gemeten tijdens de voorstelling bedroeg 678 ppm om 20u47 ter hoogte van het rozas bovenin de zaal.

De gemiddelde CO2 waarde in de zaal bedroeg 452 ppm tijdens de hele voorstelling met uitschieters tot 536 ppm.

De gemiddelde CO₂ waarde op het eerste balkon bedroeg 513 ppm tijdens de hele voorstelling met 1 uitschieter tot 755 ppm na 28min voorstelling. Vermoedelijk was dit anomalie in de meting.

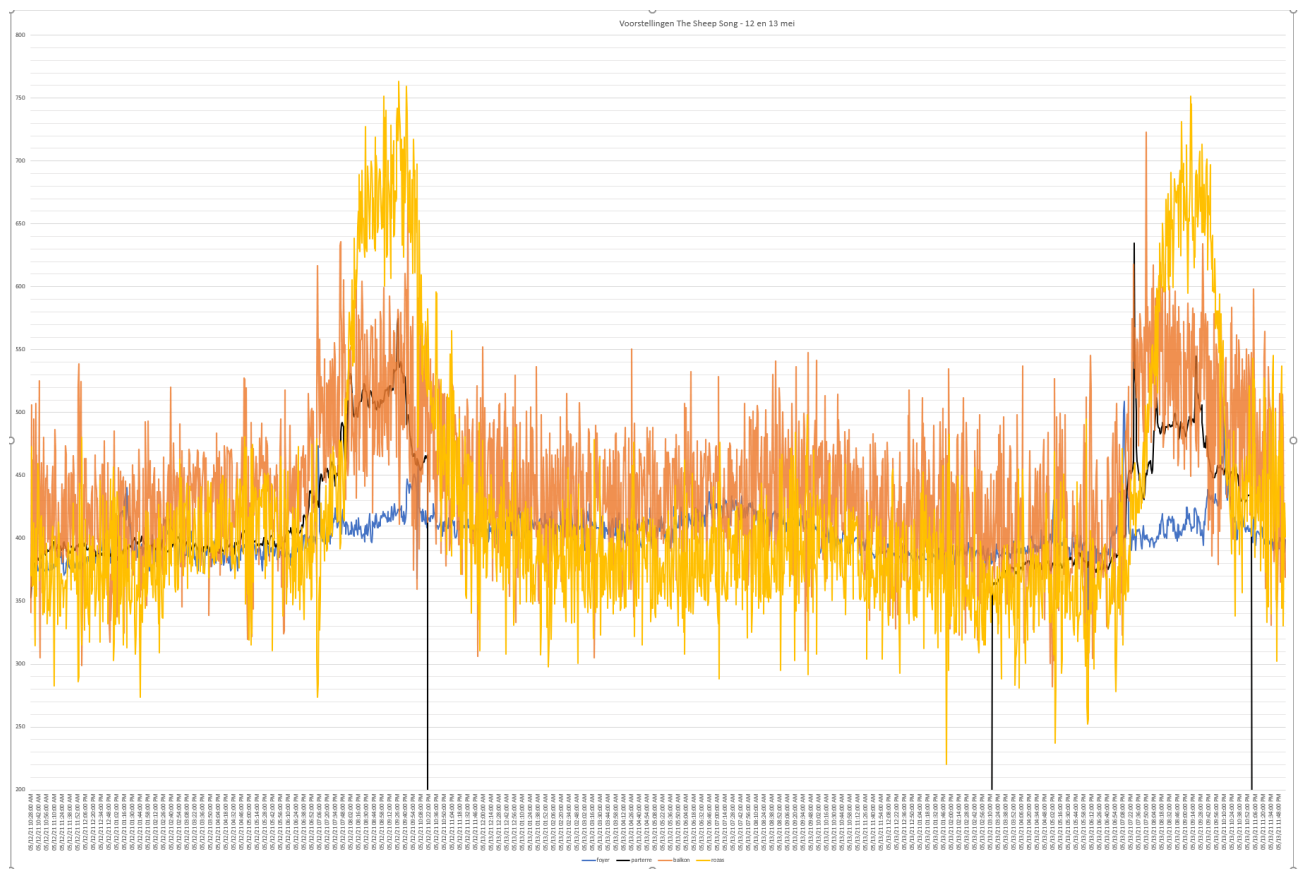
De lucht die in de zaal stroomt via de foyer had een gemiddelde CO₂ waarde van 424 ppm. Dit resulteert in een gemiddelde stijging van 28 ppm CO₂ op de parterre en 89 ppm CO₂ op het 1^{ste} balkon.

Ook nu kunnen we stellen dat de luchtkwaliteit in de zaal en op balkon op stoelniveau beter is dan boven in de zaal waar de extractie plaats vindt.

De derde voorstelling met hoogste bezetting (25% max bezetting zaal) is dus sterk onder de richtwaarde van 900 ppm CO₂ gebleven.

Tijdens deze laatste voorstelling werd het natuurlijk schouweffect in de zaal aangevuld met een mechanische pulsie van verse lucht uit de kelder via het plenum onder de zaal. Dit verklaart deels waarom de gemiddelde stijging aan CO₂ in de zaal lager was dan tijdens de 2^{de} voorstelling. Het blowerdoor toestel type 4 haalt een debiet van 3.550 tot 8.240 m³/h. gezien de geluidsrestrictie in de zaal en de instelling op laagste snelheid zal het extra ventilatiedebiet eerder in de onderste zone van het werkingsdebiet liggen.

Uitlezing loggers van 2 voorstellingen “The Sheep Song”



Bespreking voorstelling 12 mei – 176 toeschouwers

De hoogste CO₂ waarde gemeten tijdens de voorstelling met 176 toeschouwers op parterre, 1^{ste} en 2^{de} balkon. bedroeg 763 ppm om 21u29 ter hoogte van het rozas boven in het plafond van de zaal. De voorstelling startte om 20u.

Op het eerste balkon piekte de CO₂ waarde op 666 ppm om 21u45. De gemiddelde CO₂ waarde tussen 20 en 22 uur bedroeg 517 ppm

Op de parterre piekte de CO₂ waarde op 575 ppm om 21u27. De gemiddelde CO₂ waarde tussen 20 en 22 uur bedroeg 511 ppm.

De verse lucht die via de foyer in de zaal stroomt had een gemiddelde CO₂ waarde van 417 ppm. De menselijk activiteit in de zaal resulteert in een gemiddelde stijging van 100 ppm CO₂.

We kunnen stellen dat de luchtkwaliteit in de zaal op stoelniveau parterre en 1^{ste} balkon beter is dan boven in de zaal waar de extractie plaats vindt.

Bespreking voorstelling 13 mei – 210 toeschouwers

De hoogste CO₂ waarde gemeten tijdens de voorstelling met 210 toeschouwers op parterre, 1^{ste}, 2^{de} en 3^{de} balkon. bedroeg 751 ppm om 21u10 ter hoogte van het rozas boven in het plafond van de zaal. De voorstelling startte om 20u.

Op het eerste balkon piekte de CO₂ waarde op 723 ppm om 19u50, 10 minuten voor start van de voorstelling. Tijdens de voorstelling halen we maximaal 634 ppm om 21u32. De gemiddelde CO₂ waarde tussen 20 en 22 uur bedroeg 528 ppm

Op de parterre piekte de CO₂ waarde op 538 ppm om 21u21. De gemiddelde CO₂ waarde tussen 20 en 22 uur bedroeg 485 ppm.

De verse lucht die via de foyer in de zaal stroomt had een gemiddelde CO₂ waarde van 413 ppm. De menselijk activiteit in de zaal resulteert in een gemiddelde stijging van 115 ppm CO₂.

We kunnen stellen dat de luchtkwaliteit in de zaal op stoelniveau parterre en 1^{ste} balkon beter is dan boven in de zaal waar de extractie plaats vindt.

Inspanningsfysiologie

Tijdens de eerste voorstelling gaven de hartslaggegevens van 1 van de toeschouwers (42 jaar – 80 kg - BMI 26) aan dat het lichaam eerder in rust was met laag metabolisme. (gem HF 64 tijdens voorstelling / max HF 188 tijdens inspanningsproef). De voorstelling was vanuit het perspectief van deze toeschouwer een eerder ernstig stuk waarbij men vooral de dialogen volgt en in zich opneemt.

De hartslag van een persoon zegt iets over zijn activiteitsgraad, maar daarmee ken je de zuurstofopname en zeker de CO₂ productie nog niet.

In de inspanningsfysiologie gebruikt men daarom volgende aannames:

Een volwassen persoon verbruikt in rust rond de 1 MET (MET staat voor metabool equivalent). 1 MET komt gemiddeld overeen met 3.5 ml/(min.kg) zuurstofopname.

Het **respiratoir quotiënt van een persoon (RQ of RER) in rust** bedraagt tussen de **0.7 en 0.9**, waarmee de verhouding weergegeven wordt tussen VC₀₂ en VO₂ ($RER = VC_{02}/VO_2$)

Met andere woorden: ga ervan uit dat een gemiddeld persoon **in rust** 0.8 x 3.5 ml/(kg.min) aan CO₂ productie heeft.

Als we de CO₂-productie van een groep personen in een ruimte willen berekenen heb je dus nood aan het correct kunnen inschatten van verschillende factoren:

1. Activiteitsniveau van de personen
2. Gemiddelde lichaamsmassa
3. Aantal personen in de ruimte

Berekening ventilatiedebiet

Als we alle deelnemers in de zaal aannemen met een gemiddeld gewicht van 75 kg. Dan kunnen we de CO₂ productie in de zaal inschatten voor de eerste voorstelling.

De totale uitstoot van 20.580 ml/min CO₂ door 98 personen van gemiddeld 75 kg in rust zorgde voor een stijging van 226 ppm CO₂ tijdens de eerste voorstelling. (max-waarde rozas vss gemiddelde waarde foyer). 226 ppm komt overeen met 0,226 ml/liter. Het berekende ventilatiedebiet op dat moment bedroeg 5.463 m³/uur ofwel 55 m³/persoon.

De piek in CO₂ ter hoogte van het rozas werd bereikt na 1u09 minuten.

Tijdens de 2^{de} voorstelling met 127 personen meten we een stijging van 281 ppm. De mensen in de zaal produceren 26.670 ml/min. De stijging in CO₂ zorgt voor 0,281 ml CO₂/liter lucht. Het ventilatiedebiet in de zaal bedroeg toen 5.694 m³/h ofwel 44 m³/persoon.

De piek in CO₂ ter hoogte van het rozas werd bereikt na 1u01 minuten. Iets sneller dan bij de 1^{ste} voorstelling wat ook af te lijden is uit het hogere berekende ventilatiedebiet.

Tijdens de 3^{de} voorstelling kunnen we aan de hand van dezelfde berekening met 176 personen en 268 ppm stijging in de luchtstroom uitrekenen dat het ventilatiedebiet in de zaal 8.274 m³/h bedroeg of 47 m³/persoon.

Het dient gezegd dat er op woensdag 5 mei meer wind was waardoor de natuurlijke ventilatie in de zaal hoger was. Dit verklaart ook waarom de piek aan CO₂ in het rozas reeds na 47 minuten voorstelling bereikt werd. Het hogere luchtdebiet zorgt voor een snellere doorstroming. Het CO₂ niveau buiten lag toen ook hoger dan tijdens de eerste 2 voorstellingen.

Tijdens de 4^{de} voorstelling op 12 mei kunnen we aan de hand van dezelfde berekening met 176 personen en 346 ppm stijging in de luchtstroom uitrekenen dat het ventilatiedebiet in de zaal 6.409 m³/h bedroeg of 50 m³/persoon.

Tijdens de 5^{de} voorstelling op 13 mei kunnen we aan de hand van dezelfde berekening met 210 personen en 338 ppm stijging in de luchtstroom uitrekenen dat het ventilatiedebiet in de zaal 7.828 m³/h bedroeg of 37 m³/persoon.

Uit de weergegevens van het KMI zien we dat we woensdag 12 mei meer zon hadden en minder wind. Op donderdag 13 mei was het bewolkt, regenachtig en winderig. Het hoger ventilatievoud in de zaal was dus hoofdzakelijk windgestuurd. Uit informatie van de toneelhuis weten we ook dat de blowerdoor stand-by was maar NIET operationeel.

Theoretische benadering van maximale bezetting.

Wat zou de maximale bezetting van de zaal zijn bij 900 ppm CO₂ gemeten aan het rozas (in de zaal meten we waarden die 150 ppm lager zitten op de parterre en 70 ppm lager op 1^{ste} balkon) en een gemiddelde buitenconditie van 425 ppm CO₂ (411 tot 424 gemeten)?

Op een windstille avond halen we **op natuurlijke wijze** een minimaal ventilatiedebiet van 5500 m³/h via het schouweffect. De back-up ventilator en mechanisch ventilatiesysteem van de zaal staan dan uit. Met een publiek in rust met metabolisme MET1 kunnen we de bezetting in de zaal veilig houden **tot 207 personen en 172 personen** indien we uitgaan van een metabolisme van 1,2 voor lachende, zingende mensen.

Wanneer we uitgaan van **extra winddruk en/of hulpventilatoren** die verse lucht inblazen onder de zaal zoals via het back-up systeem blowerdoor aan 8.000 m³/h dan kunnen we de bezetting optrekken **tot 301 personen bij MET1** (mensen in rust) **en 251 bij MET1,2** (mensen die lachen/zingen).

Wanneer we uitgaan van de **bestaande technische installatie** die tijdens de voorstelling **geschakeld** wordt met 100 % buitenlucht aan een debiet van 33.000 m³/h kunnen we de bezetting optrekken tot **1.178 personen bij MET1** (mensen in rust) **en 982 bij MET1,2** (mensen die lachen/zingen). De maximale bezetting in de zaal, zonder rekening te houden met de afstandsregels bedraagt 848 personen.

Tussentijdse conclusie

- De CO₂ concentratie in de zaal blijft onder de richtwaarde van 900 ppm en zelfs onder de adviesdrempel van 800 ppm CO₂.
- De concentratie ter hoogte van de **parterre is lager dan op het balkon**. Het zou interessant kunnen zijn om te zien wat het effect is van een iets **dichtere setting van de stoelen op de rijen**, desnoods aangevuld met tussenschotten. Of te **werken met grotere bubbels van 3 tot 4 op de parterre**.
- Een ander type voorstelling waarin toeschouwers meer actief zijn zal leiden tot hogere CO₂ waarden. Gezien de marge die momenteel nog aanwezig is lijkt dit ons een zinvolle piste om te onderzoeken. **Stand-up comedy of muziekvoorstelling met zingen zouden een interessante testcase kunnen zijn.**

Advies rond energetische aanpassing van de zaal

Het **GBS-systeem kan aangevuld worden met vaste CO₂ meters** in de zaal en rozas. In het rozas stellen we voor om de **bestaande opening te voorzien van registerkleppen** die het **schouweffect regelen op basis van de CO₂ concentratie**. Zo blijft de warmte langer in de zaal en wordt er enkel excessief geventileerd in functie van bezetting. Een vaste extra **boost-ventilator onder de zaal** kan dan **als back-up** werken.

Het is ook mogelijk om **de bestaande installatie om te bouwen** van 33.000 m³/h naar 28.000 m³/h wanneer je terug zou willen gaan naar **100 % bezetting in de zaal**. De inblaasrichting van de lucht in de zaal zal omgedraaid moeten worden om de verse lucht via de vloer van de parterre naar boven te stuwen in het rozas. Zo kan men de mensen op de parterre langs onderuit voorzien van verse **lucht via nieuwe vloerroosters**. Dit is enkel een optie als de mensen terug dicht bij elkaar willen zitten

Sfeerbeelden



Logger in zaal – parterre tussen rij 4 en 5.



Logger op 1^{ste} balkon



Blowerdoor plenum onder zaal



Debietinstelling blowerdoor ifv geluidsniveau in zaal.

Dankwoord

Bureau Bouwtechniek is de Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur Vakgroep Architectuur en Stedenbouw - UGent, Jelle Laverge en Klaas De Jonge dankbaar voor de technische bijstand en als klankbord bij de interpretatie van de meetgegevens.

Bureau Bouwtechniek wil ook de S.P.O.R.T.S afdeling van het UZA, Johan Roeykens danken voor het luisterend oor en informatie rond metabolisme.

Bijlage

- Grafiek metingen “April”
- Grafiek metingen “The Sheep Song”

Robbe Verelst, Martijn Vyncke

Voor Bureau Bouwtechniek – team DEC