



LUND UNIVERSITY

Parameterstudie av ventilationsbehov för vätgasinstallationer

Runefors, Marcus; Johansson, Nils

2023

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):
Runefors, M., & Johansson, N. (2023). *Parameterstudie av ventilationsbehov för vätgasinstallationer*. Division of Fire Safety Engineering.

Total number of authors:
2

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Parameterstudie av ventilationsbehov för vätgasinstallationer

Marcus Runefors & Nils Johansson

BRANDTEKNIK | LTH | LUNDS UNIVERSITET



Parameterstudie av ventilationsbehov för vätgasinstallationer

Lund 2023

Parameterstudie av ventilationsbehov för vätgasinstallationer

Report 7055

© Copyright:

Division of Fire Safety Engineering, Faculty of Engineering, Lund University, Lund 2023

Avdelningen för Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2023

Keywords: Hydrogen dispersion; MZ-model; Accumulation

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

www.brand.lth.se

Division of Fire Safety Engineering
Faculty of Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden
www.brand.lth.se

Sammanfattning

Vätgas har en tendens att läcka ut i små mängder i kopplingar samt även diffusera igenom de flesta material. Detta innebär, tillsammans med vätgasens utmanande förbränningsegenskaper, att normalventilation av utrymmen där vätgas hanteras är mycket viktig.

I denna rapport presenteras kortfattat en ny metod för dimensionering av normalventilation baserad på multizon-konceptet där utrymmet delas in i olika celler där flödet mellan dessa sedan beräknas. Metoden har fördelen gentemot CFD-simuleringar att den är mycket snabbare och möjliggör därmed optimering av ventilationsarean/-flödet med rimliga simuleringstider.

Modellen används i denna rapport för att undersöka hur parametrar kopplade till såväl utrymmet (längd, bredd och höjd), utsläppet (hålstorlek, lagringstryck och utsläppets höjd) som omgivningen (temperaturen) påverkar behovet av normalventilation – både för naturlig och mekanisk ventilation. Syftet är att studien ska utgöra ett underlag i en pågående revidering av MSB:s föreskrift om brandfarliga gaser (MSBFS 2020:1) med avseende på vätgashantering.

Slutsatsen var att utrymmets storlek (som är grunden för dagens krav) har ett förhållandevis svagt samband med behovet av ventilation där en fördubbling innebar ca 20% högre flöden och större area. Ett betydligt starkare samband finns med läckagets storlek och därför kan en koppling mellan erforderlig ventilationsarea (eller ventilationsflöde) och rördimensioner i utrymmet stämma bättre överens med de underliggande fysikaliska fenomenen.

OBS! Modellen är fortfarande under pågående validering vilket gör att resultaten ska tolkas med viss försiktighet.

Summary

Hydrogen has a tendency to leak in small amounts in couplings and also to diffuse through most materials. This, together with the challenging combustion properties of hydrogen, makes normal ventilation of enclosures where hydrogen is handled very important.

In this report, a novel method for ventilation sizing is presented based on the multi-zone-concept where the enclosure is divided into different cells, and the flow between these is then calculated. Compared to CFD-simulations, the method is much quicker, and therefore the ventilation demand can be optimized with reasonable simulation times.

The method is employed in this report to investigate how parameter connected to both the enclosure (length, width and height), the release (hole size, storage pressure and release height), as well as the surrounding (temperature), affects the need for ventilation – both for natural and mechanical ventilation. The aim is that the report should inform the ongoing revision of the Swedish legislation on flammable gases (MSBFS 2020:1) regarding hydrogen handling.

The conclusion was that the size of the enclosure (which is the basis for the current legislation) has a rather weak effect on the ventilation need. A stronger effect is found between the leak size and ventilation need, and therefore a connection between the pipe dimensions and the ventilation need could be considered since this more closely aligns with the underlying physical phenomena.

NOTE! The model is still under validation, and therefore the results should be used with caution.

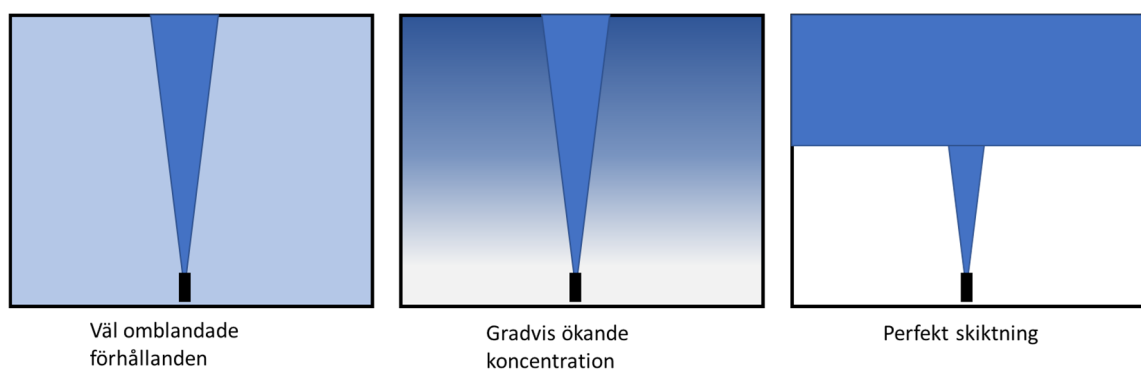
Innehållsförteckning

1	Inledning.....	7
2	Kort beskrivning av multizon-modellen	8
3	Metod	9
4	Resultat.....	10
4.1	Rummets påverkan.....	10
4.2	Läckagets påverkan	12
4.3	Omgivningens påverkan	14
5	Diskussion.....	14
6	Slutsats	15
7	Referenser	16
	Bilaga A – Diagram för maximal koncentration samt succesiv ökning av ventilationsarean	17

1 Inledning

Eftersom vätgas är en så liten molekyl så läcker den lättare i till exempel kopplingar jämfört med till exempel kolväten. Detta stämmer också överens med erfarenheten från industrin som har använt vätgas under lång tid som beskriver att det är relativt vanligt att vätgas läcker ut vid olika kopplingar på systemet. Dessa industrier hanterar ofta denna problematik genom att placera utrustningen utomhus, men många anläggningar som byggs idag har utrustning som inte anses klara påverkan från väder och vind som till exempel bränsleceller, elektrolysörer och högtryckskompressorer vilket gör att de istället placeras inomhus. Förutom denna typ av små diffusa utsläpp så är ventilationen även viktig för att snabbt ventilera ut större läckage efter dessa har detekterats och isolerats.

I denna rapport presenteras kort en ny metod för att dimensionera ventilationen av vätgasanläggningar. De flesta modeller som finns tillgängliga idag är baserade på antingen väl omblandade förhållanden (t.ex. Prasad (2014)) eller perfekt skiktning (t.ex. Barley et al. (2009)). Detta trots att många experiment visar en gradvis övergång med ökande koncentration nära taket, men utan en tydlig gräns (se t.ex. Liang et al. (2022)). Dessa olika fall illustreras i nedanstående figur.



Figur 1 – Typfallen avseende ansamling av vätgas i ett utrymme.

En metod för att hantera denna gradvisa övergång är att använda CFD-modeller, men dessa tar emellertid vanligen lång tid att simulera och särskilt då de små läckage som normalt är relevanta i detta sammanhang ($\ll 1$ mm) ställer mycket stora krav på gridupplösningen i modellen.

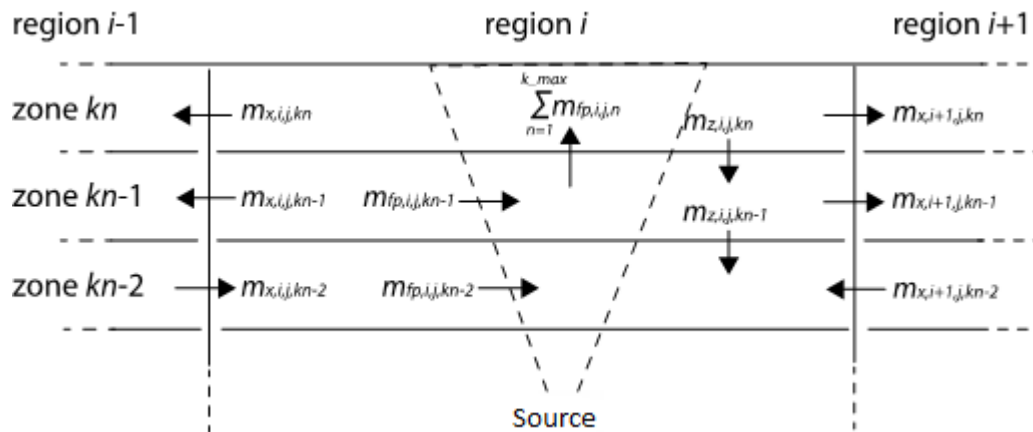
I denna rapport presenteras ett alternativt metodologiskt angreppssätt i form av en multizon-modell som i sin komplexitet ligger mellan CFD-modellen och de enkla väl omblandade eller 2-zon-modellerna som beskrevs ovan.

Modellen används i rapporten för att genomföra en parametrisk studie¹ där olika variablers påverkan på erforderlig ventilationsarea vid tak respektive golv beräknas. Även erforderligt flöde för mekanisk ventilation beräknas. Syftet är att rapporten ska utgöra ett underlag för den pågående revideringen av MSBFS 2020:1 med hänsyn till vätgasinstallationer. Modellen är fortfarande under pågående validering vilket gör att resultaten behöver tolkas med viss försiktighet.

¹ En parametrisk studie innebär att man systematiskt varierar alla ingående variabler för att undersöka hur stor påverkan de har på resultatet.

2 Kort beskrivning av multizon-modellen

I en multizon-modell delas utrymmet upp i ett antal kontrollvolym som används i beräkningen. Se en principiell beskrivning i Figur 2.



Figur 2 – Principen för en multi-zon-modell, baserad på Suzuki et al (2004)

Varje kontrollvolym har en uniform koncentration av vätgas. Vätgasutsläppet antas ske uppåtriktat och inblandningen i plymen beräknas genom en empirisk plymmodell för vätgas. Flödet mellan olika kontrollvolym styrts av massbalanskvationer kombinerat med tryckskillnader till följd av densitetsskillnader som orsakas av vätgaskoncentrationen beräknat med Bernoullis ekvation. Turbulensen i plymen beaktas genom den empiriska plymekvationen, men ingen explicit turbulensmodell finns för utbytet mellan kontrollvolym. Inblandningen i plymen på olika avstånd beräknas med metoden framtagen av Prasad et al. (2011) och källstyrkan beräknas med metoden för underexpanderade och expanderade jetutsläpp beskriven i Molkov (2012).

Modellen har tidigare använts primärt i brandsammanhang och har där visat en god överensstämmelse med experiment, men den har inte tidigare applicerats för vätgas och validering av modellen är inte slutförd och därför ska resultaten i denna rapport tolkas med försiktighet. En vetenskaplig artikel där modellen valideras mot försök är under framtagande, men är inte färdigställd.

3 Metod

Metoden består i att ett grundfall definieras och sedan varieras relevanta parametrar separat för att undersöka dess påverkan på erforderlig ventilationsarea. Grundfallet är baserat på en standard 20-fot-container eftersom denna motsvarar en vanligt förekommande inneslutning för vätgasininstallationer. Övriga variabler ansätts till förväntade värden. Samtliga variabler varieras sedan i parameteranalysen.

Grundfallet är definierat enligt nedan.

- Utrymmets längd: 6,1 m
- Utrymmets bredd: 2,4 m
- Takhöjd: 2,6 m
- Läckagestorlek: 0,2 mm
- Lagringstryck: 500 bar
- Läckaget höjd över golv: 0 m
- Omgivningstemperatur: 20°C

I samtliga simuleringar antas att ventilationsarean fördelas jämnt nära tak och nära golv. För mekanisk ventilation antas tilluft vara placerad i golvnivå och frånluft i taknivå. Ventilationen i form av en högt och en lågt placerad ventilationsöppning eller fläkt är placerad på en kortsida av utrymmet².

För grundfallet krävdes en ventilationsarea på 0,63 m² vid golv respektive tak. Detta ska jämföras med det som dagens regler hade föreskrivit (d.v.s. 1% av golvytan totalt) som hade varit 0,073 m². Erforderligt mekaniskt ventilationsflöde var 129 l/s.

Vid simuleringens början är ventilationsarean noll. När koncentrationen någonstans i utrymmet överstiger 8% (vilket är den koncentration då vätgasförbränning kan medföra tryckökning) så ökas ventilationen med 0,01 m². Om den maximala koncentrationen 20 sekunder senare fortfarande överstiger 8% så ökas den med ytterligare 0,01 m² vilket sedan repeteras till koncentrationen understiger 8%. Simuleringen genomfördes för 2000 sekunder och om den inte hade konvergerat då så genomfördes ytterligare en simulering för 5000 sekunder. Diagram med maximal koncentration och ventilationsarea över tid återfinns i bilaga A.

En sammanställning av alla simulerade fall presenteras nedan.

Tabell 1 – Simulerade fall där en parameter varieras åt gången. Fetmarkering anger grundfallet i simuleringarna. För genomstrukna fall kunde inte koncentrationen hållas under 8% oavsett ventilationens storlek.

Parameter	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4	Fall 5
Längd	3,05 m (50%)	4,575 m (75%)	6,1 m	9,15 m (150%)	12,2 m (200%)
Bredd	1,2 m (50%)	1,8 m (75%)	2,4 m	3,6 m (150%)	4,8 m (200%)
Höjd	1,3 m (50%)	1,95 m (75%)	2,6 m	3,9 m (150%)	5,2 m (200%)
Håldiameter	0,05 mm	0,1 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm
Tryck	5 bar	50 bar	300 bar	500 bar	950 bar
Läckagehöjd	0 m	0,5 m	1 m	1,5 m	-
Temperatur	-20°C	0°C	20°C	40°C	-

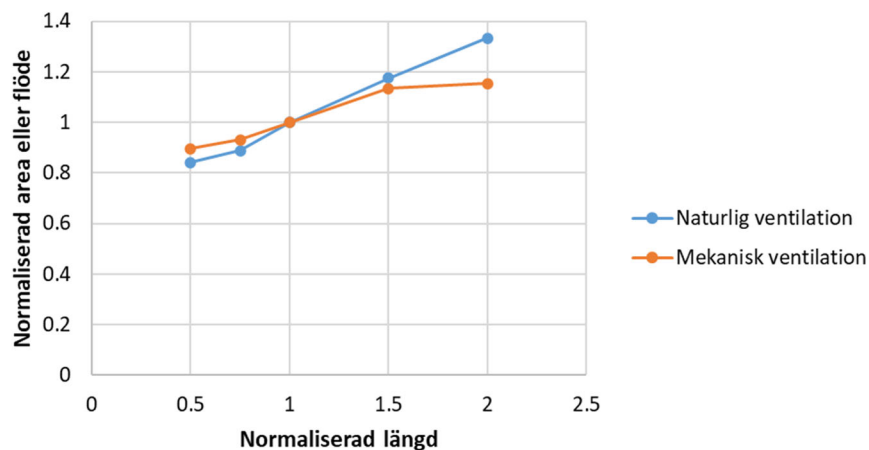
² I simuleringarna är båda ventilationsöppningarna (den högt respektive lågt placerade) placerade på samma sida och eftersom inget fall med vind beräknas så påverkar detta inte resultaten. I verkliga tillämpningar är det dock fördelaktigt att den högt och lågt placerade öppningen är på olika väggar.

4 Resultat

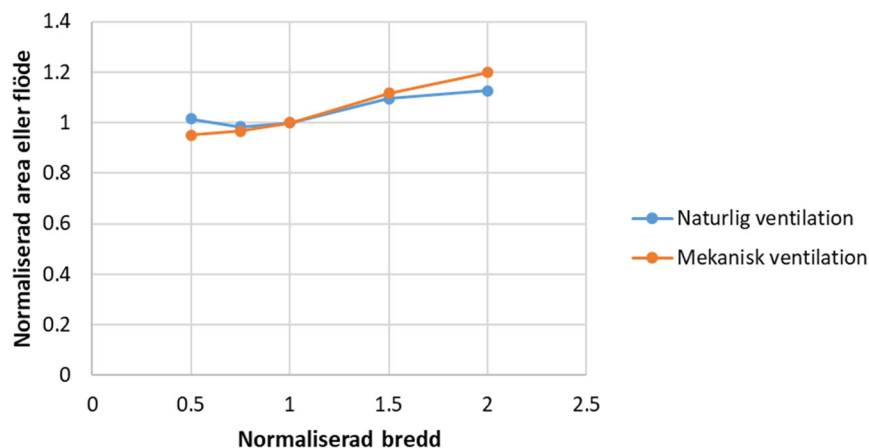
I detta kapitel presenteras hur den normaliserade ventilationsarean påverkas av förändring av olika parametrar. Normaliseringen görs genom att arean divideras med den erforderliga arean för grundfallet. Motsvarande görs även för mekanisk ventilation

4.1 Rummets påverkan

Längden, bredden och höjden av utrymmet ansätts till 50%, 75%, 100%, 150% samt 200% av grundfallet och erforderlig normaliserad area för ventilationsöppningar samt normaliserat ventilationsflöde för mekanisk ventilation presenteras i nedanstående figurer.



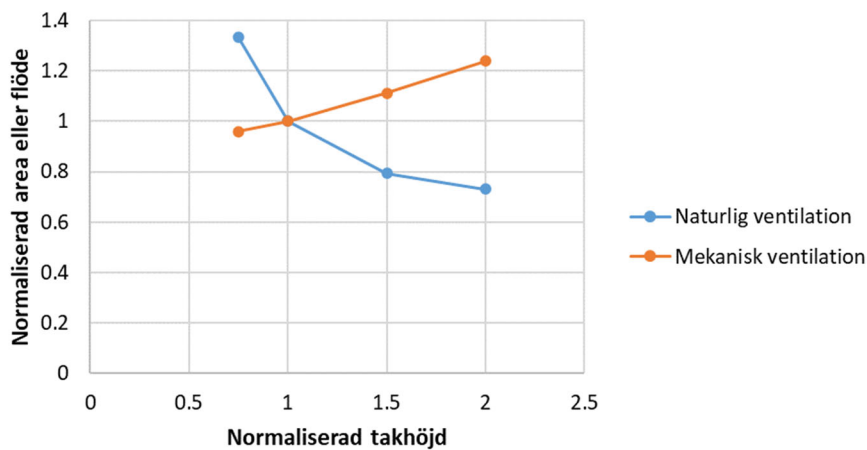
Figur 3 – Påverkan av varierad längd på utrymmet från 3,05 till 12,2 m



Figur 4 – Påverkan av varierad bredd på utrymmet från 1,2 till 4,8 m

Det kan noteras att en fördubbling av längd eller bredd medför en 10-20% ökning av arean och 20-30% ökning av det mekaniska flödet. Detta innebär att påverkan av längd och bredd är relativt begränsad. En minskning av längden får en liknande påverkan medan en minskning av bredden ger en mindre påverkan.

Nedan presenteras påverkan av takhöjden.

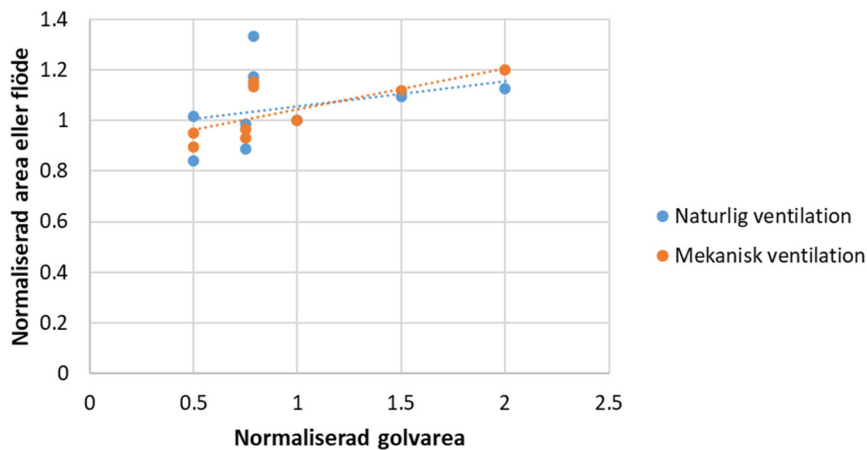


Figur 5 – Påverkan av varierad höjd på utrymmet från 1,95 till 5,2 m

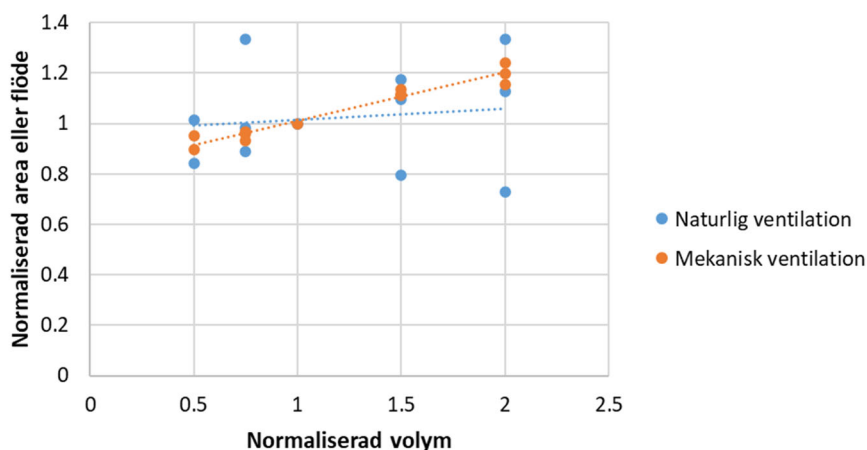
Ökad takhöjd minskar ventilationsarean vilket hänger samman med att tryckskillnaden över öppningen blir större (jämför med en skorsten). Behovet av mekanisk ventilation ökar dock vilket sannolikt beror på att plymen får en ökad inblandning av luft och därmed behöver mer gasblandning transporteras ut. Sambandet är dock inte starkt för mekanisk ventilation som för naturlig.

För den lägsta takhöjden (1,3 meter) hade lösningen inte konvergerat efter 5000 sekunder vilket troligen beror på att koncentrationen var över 8% där plymen träffade taket vilket gör att koncentrationen inte kan minskas signifikant oavsett mängden ventilation.

Nedan presenteras hur golvarean hänger samman med behov av naturlig och mekanisk ventilation vilket är den kopplingen som finns i dagens regler (ventilationen ska motsvara 1% av golvytan). Därefter presenteras sambandet med utrymmets volym vilket är grunden för lagstiftningens krav på mekanisk ventilation (beskriven som 0,5 luftomsättningar per timme).



Figur 6 – Påverkan av golvarean utifrån ovan presenterade fall

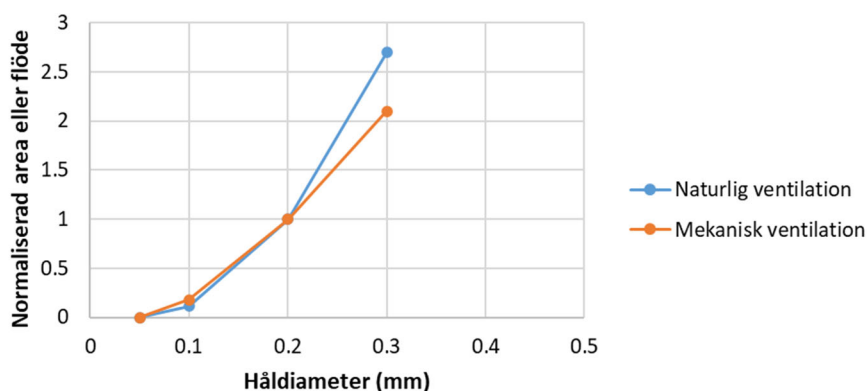


Figur 7 – Påverkan av rumsvolym utifrån ovan presenterade fall

Sambandet med golvarea liknar det för längd och bredd där en fördubbling motsvarar ungefär en 20% ökning av såväl naturlig som mekanisk ventilation. För rumsvolym så förefaller mekanisk ventilation bero på liknande sätt medan det inte finns något samband för naturlig ventilation (i alla fall inte inom de variationer som har testats).

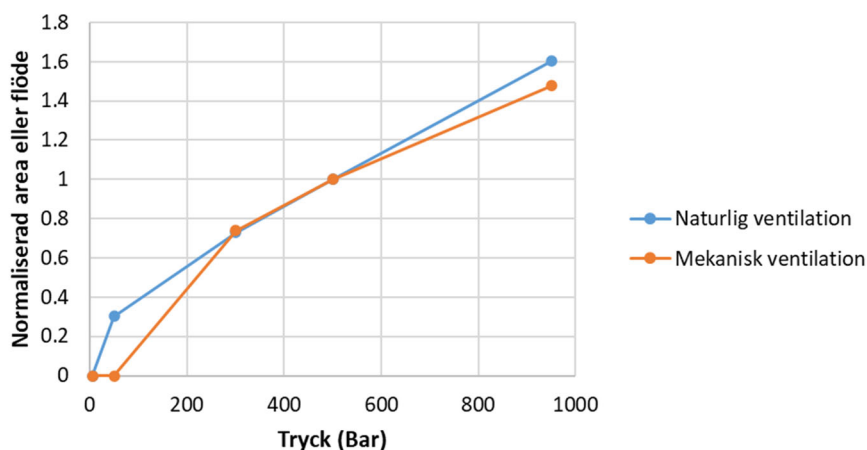
4.2 Läckagets påverkan

Påverkan av läckagehållets storlek presenteras nedan. Det största simulerade hålet (0,4 mm) konvergerade inte och är därför inte med i figuren. Sannolikt är anledningen till att denna inte konvergerade samma som den låga takhöjden – att plymen hade för hög koncentration när den nådde taket.



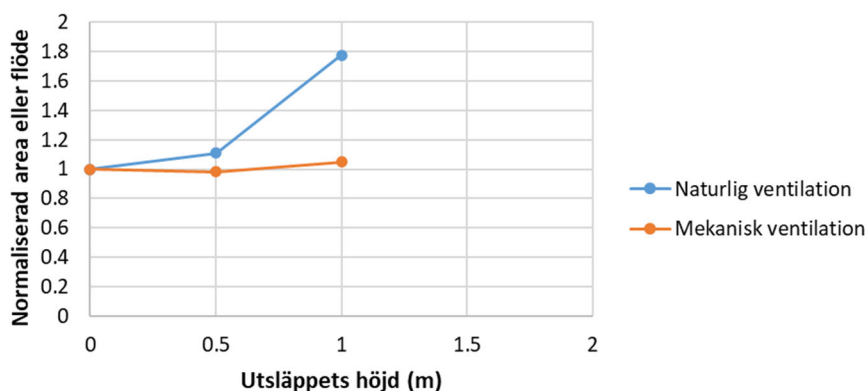
Figur 8 – Påverkan av håldiametern hos läckaget

Det finns ett starkt samband mellan hålstorlek och behov av såväl naturlig som mekanisk ventilation. En ökning av hålstorleken med 50% från grundfallet innebär drygt nästan tre gånger så stor ventilationsarea och över dubbelt så stort större flöde för mekanisk ventilation. De minsta hålen ger ingen eller försumbar ansamling vilket ger ett väldigt begränsat ventilationsbehov.



Figur 9 – Påverkan av trycket

Trycket påverkar mindre än hålstorleken, men en ökning av trycket från 500 till 950 bar ger en ökning på 50-60% för både naturlig och mekanisk ventilation. De lägsta trycken (5 bar och 50 bar) ger en begränsad ansamling.



Figur 10 – Påverkan av läckagets höjd över golv.

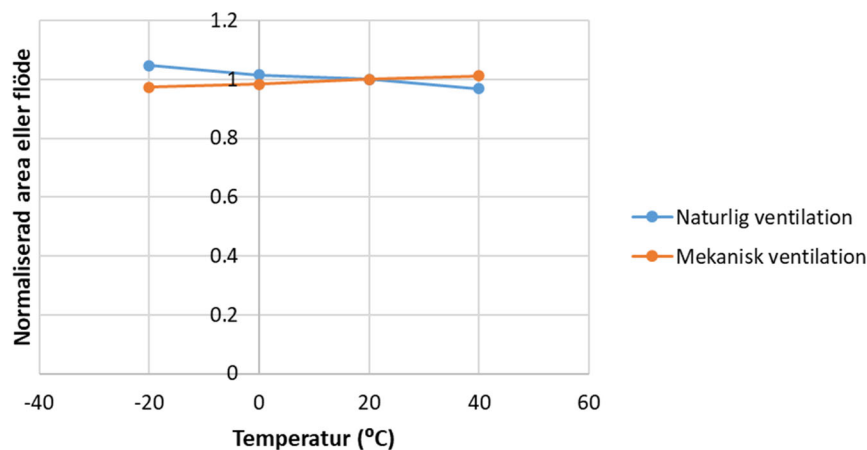
Den högsta simulerade höjden ovan golv (1,5 meter) konvergerade inte vilket sannolikt har samma anledning som att den lägsta takhöjden ovan inte konvergerade – att plymen har för hög koncentration när den träffar taket.

Den mekaniska ventilation minskar marginellt (2%) när det höjs upp 0,5 meter vilket liknar påverkan från något minskad takhöjd där en minskning av takhöjden med 0,65 meter ledde till en minskning av ventilationsarean med 4%. Även det ökade behovet av naturlig ventilation stämmer överens med den tidigare observerade trenden med ett ökat behov vid lägre avstånd till tak.

När utsläppets höjd ökar ytterligare ökar behovet för den naturliga ventilationen kraftigt medan den mekaniska ventilationen också ökar något. Detta hänger, i likhet med övriga resultat, sannolikt samman med att vi får mycket höga lokala koncentrationer där plymen träffar taket och det därmed är mycket utmanande att ventileras ut.

4.3 Omgivningens påverkan

Temperaturen varieras från -20°C till 40°C. Samma temperatur antas råda både i utrymmet och i det fria (vilket är rimligt då utrymmet har omfattande ventilationsutbyte med det fria).



Figur 11 – Påverkan av varierad omgivningstemperatur från -20°C till 40°C

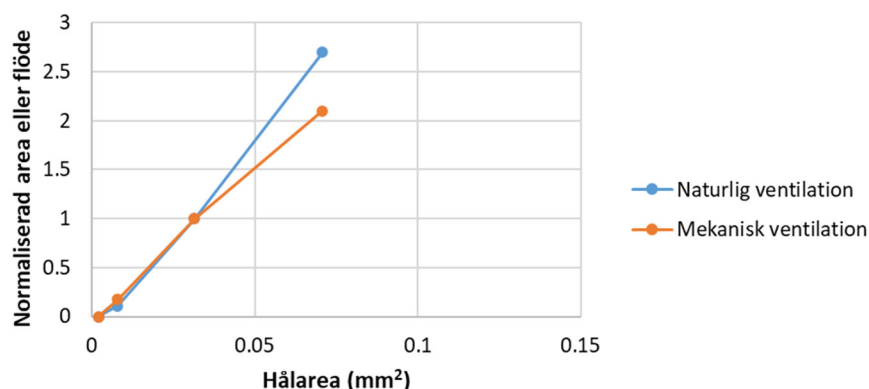
Temperaturen leder till en marginellt minskande behov av naturlig ventilation och ett marginellt ökande behov av mekanisk ventilation.

5 Diskussion

Det förefaller som golvarean i utrymmet har begränsad påverkan (15-30% vid fördubbling eller halvering av längd eller bredd) på ventilationsbehovet vilket är intressant eftersom dagens regelverk anger att ventilationsarean ska vara direkt proportionell mot golvytan och uppgå till 1% av densamma. Detta innebär sannolikt att ventilationsarean underskattas i små utrymmen och överskattas i stora utrymmen.

Gällande takhöjd innebär en ökad takhöjd en minskad nödvändig ventilationsarea, men ett ökat flöde för mekanisk ventilation. Storleken på påverkan verkar vara liknande som den för golvarean så att en fördubbling av takhöjden ger ca 20% ökning av flödet för den mekaniska ventilationen, men en 30% minskning av arean för den naturliga ventilationen.

Nödvändig ventilationsarea förefaller ha ett starkt samband med läckagets håldiameter så att 50% ökning av läckagets karaktäristiska diameter innebär en nästan tre gånger så stor ventilationsarea och mer än dubbelt så stort flöde. Detta innebär en utmaning eftersom det är en storhet som i normala fall är behäftad med stor osäkerhet. I många fall antas dock läckagearean vara proportionellt mot rörets area vilket skulle kunna göra att ett samband med största rörarean i utrymmet hade kunnat vara relevant. Om erforderlig ventilationsarea plottas relativt hålarea så erhålls nedanstående resultat.



Figur 12 – Påverkan av varierad hålarea

Här framgår att det finns ett närmast linjärt samband mellan erforderlig ventilation och hålarean. Detta skulle kunna innebära att en ventilationsarea proportionell mot största rörarean i utrymmet skulle kunna vara en modell för en reviderad regelpunkt i MSBFS 2020:1. Om till exempel det skulle beslutas att denna typ av läckage motsvarar 0,1% av rörarean så kan man direkt utifrån detta samband kunna fastställa sin nödvändiga ventilationsarea. Om man då hade haft ett typiskt vätgasrör som har en innerdiameter på 7,9 mm och därmed en area på 49,0 mm² så hade den dimensionerande hålarean varit 0,05 mm² utifrån vilken arean direkt kan bestämmas. Detta skulle ge arean/flödet för ett utrymme för en typisk storlek på utrymmet, men som tidigare har beskrivits så skulle en fördubbling av detta bara medföra ett fel på ca 20% vilket kan anses vara acceptabelt givet osäkerheten och väsentligt mycket mindre än en koppling mot golvarean. En fördel är också att det då finns möjlighet att göra en egen beräkning med antingen modellen i denna studien eller en CFD-modell för att optimera sin ventilation. Det ger en transparens och spårbarhet i regelverket likande den som eftersträvas i den rapport gällande skyddsavstånd för vätgasinstallationer som är under framtagande.

Behovet av naturlig ventilation minskar med ökad takhöjd och därför kan en dimensionering utgå från normal takhöjd (t.ex. 2,6 meter). För mekanisk ventilation ökar ventilationsbehovet med ökad takhöjd något, men en höjning från 2,6 meter till 5,2 meter ger bara en 20% ökning så det kan sannolikt vara acceptabelt att bortse från denna.

6 Slutsats

Det förefaller som läckagets storlek är den faktor som i störst utsträckning påverkar nödvändig ventilationsarea. Eftersom denna i många sammanhang antas vara proportionell mot rörets storlek så är största rördimensioner i utrymmet en intressant faktor som skulle kunna användas för att definiera nödvändig ventilationsarea.

För att kunna komma vidare till kvantitativa rekommendationer så behövs dels ett ställningstagande kring läckagets andel av rörets area samt dimensioner för en typisk vätgasanläggning.

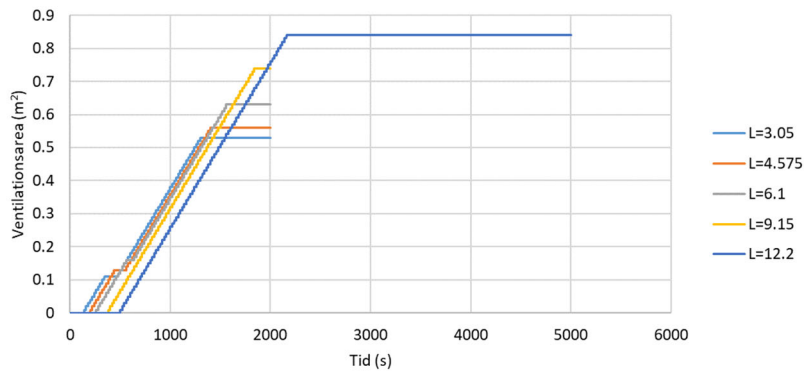
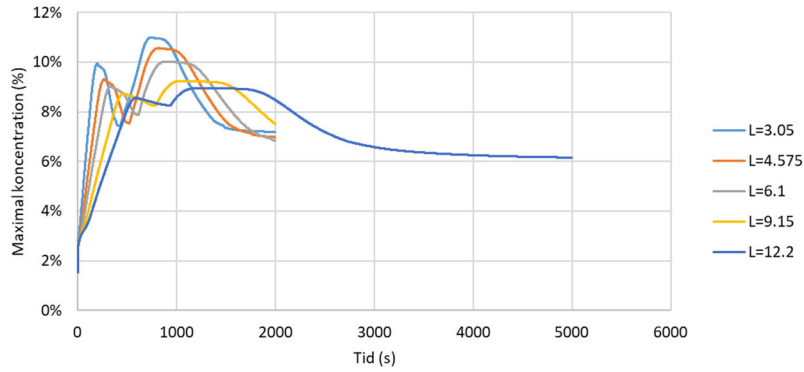
Alla resultat bör tolkas med viss försiktighet eftersom modellen fortfarande under pågående validering.

7 Referenser

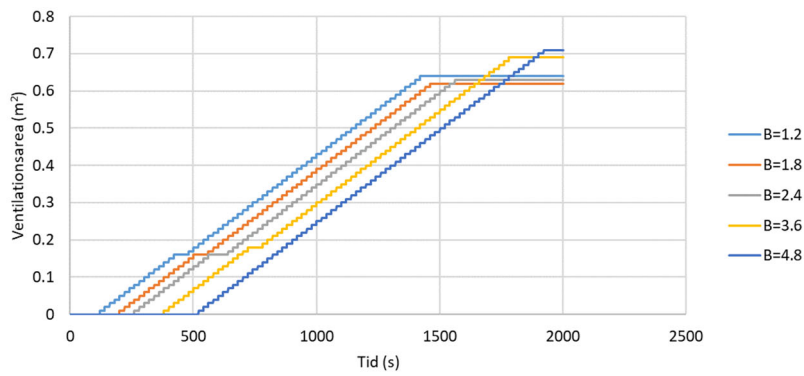
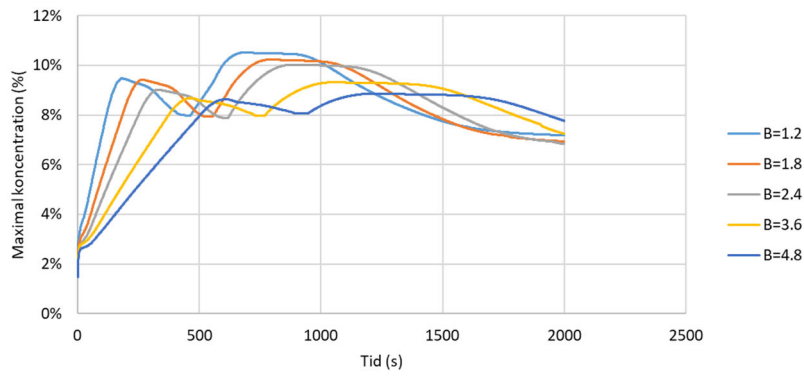
- Barley, C. D., & Gawlik, K. (2009). "Buoyancy-driven ventilation of hydrogen from buildings: Laboratory test and model validation". *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(13), 5592-5603. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.04.078>
- Hooker, P., Hoyes, J. R., & Hall, J. (2014). "Accumulation of Hydrogen Released into an Enclosure Fitted With Passive Vents - Experimental Results and Simple Models". *Hazards*, 24.
- Liang, Z., David, R., & Barlov, K. (2022) "Experimental study and model prediction on helium reliefs in an enclosure with single or multiple vents", *International Journal of Hydrogen Energy*, In press
- Molkov V. (2012) "Introduction to Hydrogen Safety Engineering", BookBoon
- Prasad, K. (2014). "High-pressure release and dispersion of hydrogen in a partially enclosed compartment: Effect of natural and forced ventilation". *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(12), 6518-6532. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.01.189
- Prasad, K. & Yang, J. (2011) "Vertical release of hydrogen in a partially enclosed compartment: Role of wind and buoyancy", *Int. J. Hydrog. Energy*, vol. 36, no. 1, pp. 1094–1106, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2010.08.040
- Suzuki, K., Tanaka, T., Harada, K., and Yoshida, H.(2004) "An application of A Multi-layer Zone Model to A Tunnel fire", *Fire Safety. Science*, no. 6.

Bilaga A – Diagram för maximal koncentration samt succesiv ökning av ventilationsarean

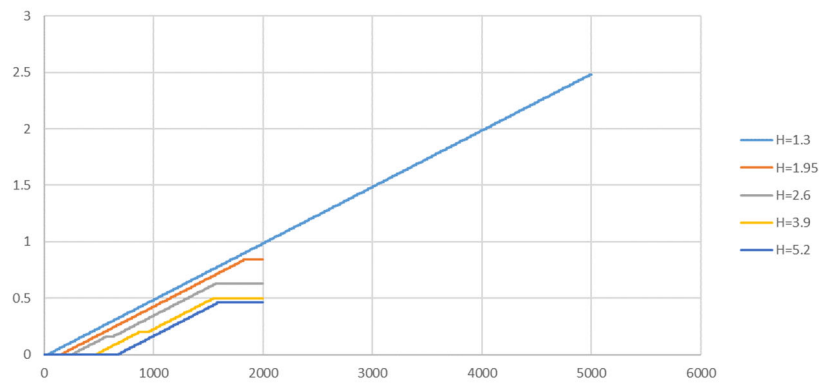
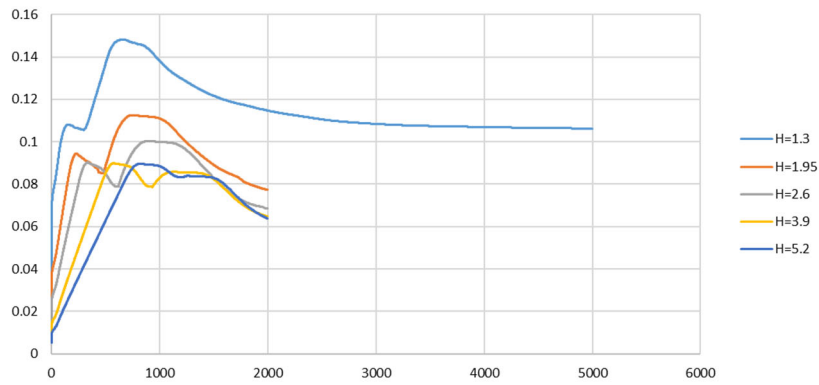
Utrymmets längd



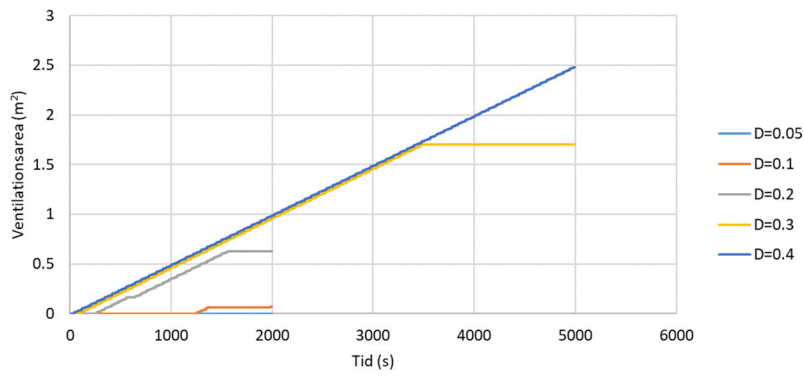
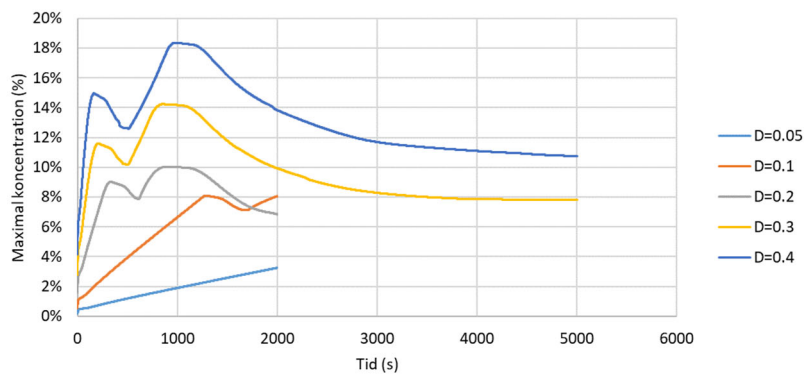
Utrymmets bredd



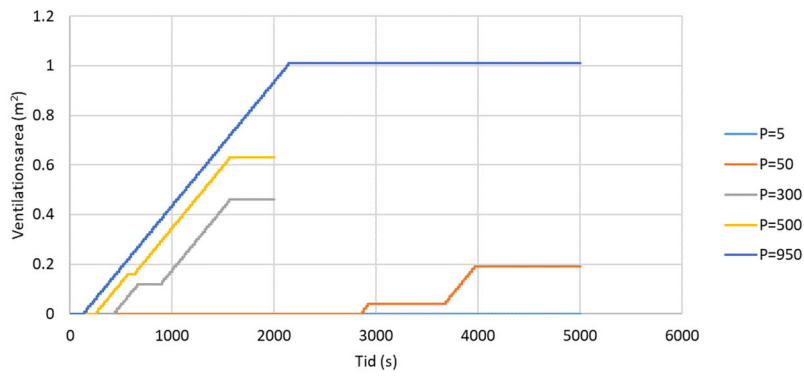
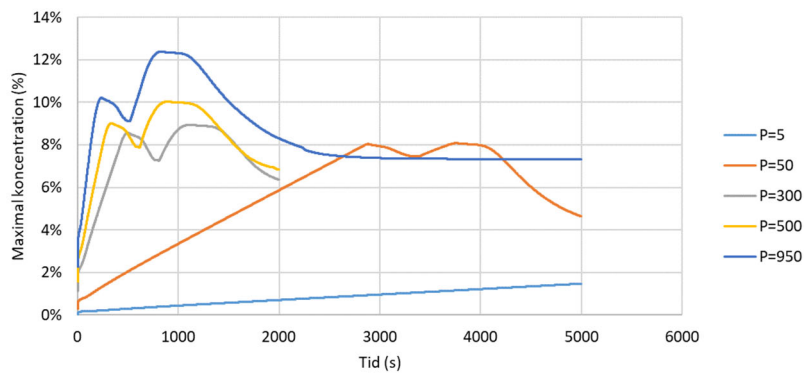
Utrymmets höjd



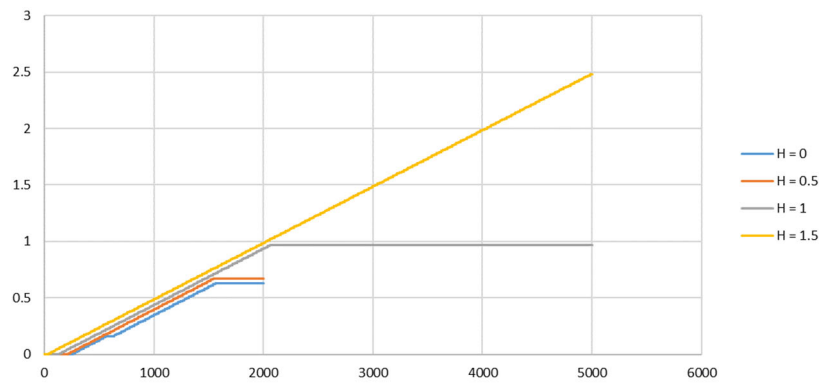
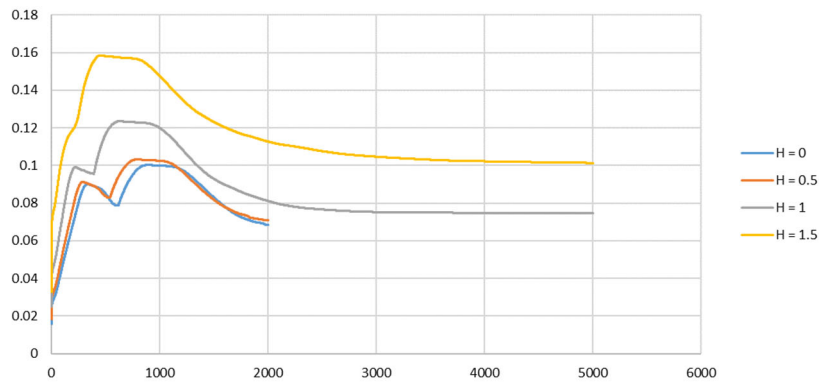
Läckagets storlek



Lagringstryck



Utsläppets höjd över golv



Omgivningstemperatur

