



Vraag 1, VT-2025, 10 punten

Naam:

Zet een kruisje onder **Ja** als u het met de uitspraak eens bent en onder **Nee** als u het met de uitspraak oneens bent.

Uitspraak	Ja	Nee
Argon wordt goed gepompt door een kryopomp.		
Een kryopomp heeft continu een draaiende voorvacuümpomp nodig.		
Het werkgebied van een kryopomp ligt tussen 10^{-1} en 10^{-8} Pa.		
De binnenzijde van het 10K kryopaneel is bedekt met actieve kool om waterstof te kunnen verpompen.		
Bij het regenereren van een kryopomp kan de tweede trap op lage temperatuur blijven.		
Een titaansublimatiepomp is een transportpomp.		
De pompsnelheid van een titaansublimatiepomp voor helium is hoog.		
Bij een getterionenpomp wordt gebruik gemaakt van hoogspanning.		
In een getterionenpomp kunnen edelgassen worden gepompt door middel van ionenpompwerking.		
De goedkoopste getterionenpompen hebben geen magneet.		
Ionen kunnen positief of negatief geladen zijn.		
Isotopen hebben hetzelfde aantal neutronen als elektronen.		
Een RGA bestaat uit twee gedeeltes: een ionenbron en een ionencollector.		
Een B&A ionisatie drukmeter is een gassoortafhankelijke meter.		
Elektronen in een B&A ionisatie drukmeter worden geëmitteerd door een koude kathode.		
Een Penning drukmeter heeft een pompwerking.		
In een Penning drukmeter bewegen de elektronen naar de anode.		
Een thermokoppel drukmeter heeft een meetbereik van 10^5 tot 100 Pa.		
Een Pirani drukmeter is een dichtheidsmeter.		
De aanwijzing van een mechanische Bourdonmanometer is afhankelijk van de atmosferische druk.		

Vraag 2, VT-2025, 20 punten

Naam:

Een turbomoleculaire pomp (TMP) is een veel gebruikte pomp om hoogvacuüm (HV) of ultrahoogvacuüm (UHV) te bereiken.

- a) Geef het werkgebied aan van de HV- en de UHV-TMP:
HV:mbar -mbar **UHV:**mbar -mbar
- b) Waar bevindt zich de dragstage in een TMP? Vink het juiste antwoord aan:
- direkt onder de inlaattflens van de TMP
 - in het midden van de TMP
 - bij de aansluiting van de voorvacuümpomp
- c) Welke beweringen zijn juist voor een hybride gelagerde TMP? Vink de juiste antwoorden aan:
- heeft geen kogellagers,
 - heeft een accu zodat de pomp door kan draaien als de spanning weg valt
 - gebruikt olie of vet voor de smering van de lagers
 - mag nooit op zijn kop worden gemonteerd
 - is niet onderhouds vrij
 - heeft een kogellager en magnetisch lager
- d) Je hebt een TMP met een mebraanpomp als voorpomp. Welke bewering is juist?
Vink de juiste bewering aan:
- Deze TMP heeft een dragstage nodig.
 - Deze TMP heeft geen dragstage nodig.
 - Het maakt niet uit of de TMP wel of geen dragstage heeft.
- e) Is de pompsnelheid van een turbomoleculaire pomp gassoortafhankelijk? Licht uw antwoord toe.
- f) Heeft een splinterscherm invloed op de effectieve pompsnelheid van een TMP? Licht uw antwoord toe.
- g) Welke factoren hebben invloed op de einddruk van een UHV systeem?
Vink de juiste antwoorden aan:
- virtueel lek,
 - extern lek,
 - afdichtingskeuze (CF-ringen of O-ringen)
 - magnetisch gelagerde turbomoleculaire pomp,
 - type voorpomp,
 - orientatie van de turbomoleculaire pomp (horizontaal of verticaal)
 - uitstoken van het vacuüm systeem
 - vingerafdrukken in de vacuümkamer

Vraag 3, VT-2025, 20 punten

Marijke wil graag een blokje aluminium bedekken met een dun laagje goud (Au). Daarvoor gebruikt zij een groot opdampsysteem. Bij opdampen wordt een vaste stof verhit tot boven het smeltpunt van het op te dampen materiaal, in dit geval dus het goud. De gouddeeltjes die in de dampfase komen gaan alle kanten op. Door het aluminium blokje in de vacuümkamer op te hangen, wordt het bedekt met een laagje goud. De goudmoleculen moeten het blokje bereiken zonder te botsen met gasmoleculen. Het blokje hangt ongeveer een meter boven de bron waar het goud wordt verdampt.

De vrije weglengte van luchtmoleculen is $\lambda = 6.7 \times 10^{-3} / p$ (p in Pa).

- Welke druk (in Pa) is minimaal nodig in deze vacuümkamer voordat gestart kan worden met opdampen?
- Noem twee pompcombinaties die deze lage druk kunnen behalen. Houd rekening met de grootte van het opdampsysteem.
- Welke drukmeters zou je kiezen op dit vacuumsysteem? Licht toe waarom.

Het systeem bestaat slechts uit één vacuumkamer met een deur, waardoor Marijke na beluchten het blokje aluminium kan laden.

- Maak een schets van het systeem, inclusief de bij b) gekozen pompcombinatie, kleppen en drukmeters.
- Men wil de kamer ook kunnen heliumlektesten. Teken het aansluitpunt voor de lektester in de bij d) gemaakte schets.

Goud hecht heel erg slecht op aluminium. Daarom wil Marijke eerst een laagje titaan opdampen, om de hechting van het goud te verbeteren.

- Het valt Marijke op dat het titaan bij verhitting niet smelt, maar dat het titaan gelijk van vaste stof overgaat in de gasvormige fase. Hoe wordt die faseovergang genoemd?

Het valt haar ook op dat na het verdampen van het titaan de druk in de kamer eerst stijgt maar daarna sterk daalt.

- Wat is de reden dat de druk zo sterk daalt?

De kamer heeft overal CF flenzen met metalen afdichtringen, behalve voor de deur. Daar is een rubber afdichting voor gebruikt.

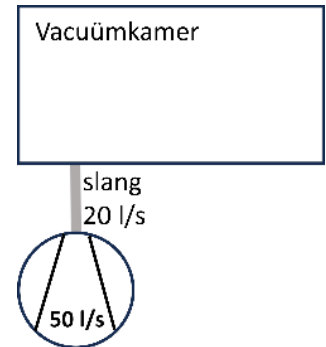
- Waarom zou de deur geen metalen afdichting hebben?

Marijke wil de snelheid van het proces verhogen om meerdere blokjes aluminium per dag te kunnen vergulden. Ze besluit om een verwarmingslint rond de kamer te wikkelen en ook een watergekoelde slang rond het systeem aan te brengen. Zij kan de waterkoeling en de verwarming naar keuze aan- of uitzetten.

- Welke procedure van verwarmen en koelen zou zij het beste kunnen gebruiken om de doorvoertijd van het opdampproces te verhogen?

Vraag 4, VT-2025, 20 punten

Je hebt in een vacuümkamer een pompsnelheid nodig van 40 l/s. Je gebruikt een pomp met een pompsnelheid van 50 l/s en sluit hem met behulp van een slang (geleidingsvermogen 20 l/s) aan op de vacuümkamer. Je weet zeker dat het hele vacuümsysteem lekdicht is. Ondanks normale werking van de pomp merk je dat de pompsnelheid aan de vacuümkamer onvoldoende is.

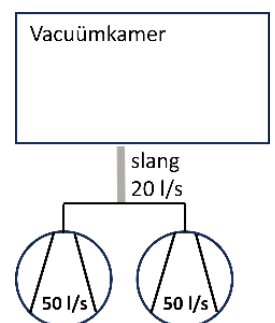


- a) Wat is de beperkende factor voor de pompsnelheid aan de vacuümkamer?

Hieronder vind je een aantal voorstellen om het probleem te verhelpen. Bereken per voorstel (b t/m g) of het op deze manier wel of niet lukt om de pompsnelheid van 40 l/s aan de vacuümkamer te halen.

Leg ook per voorstel uit **waarom** het wel of niet lukt.

- b) Je vervangt de pomp door een grotere pomp, met een pompsnelheid van 100 l/s.
 c) Je vervangt de slang door een slang met een geleidingsvermogen van 30 l/s.
 d) Je vervangt de slang door een slang met een geleidingsvermogen van 40 l/s.
 e) Je vervangt de slang door een slang met een geleidingsvermogen van 500 l/s.
 f) Je vervangt de slang en de pomp. De nieuwe slang heeft een geleidingsvermogen van 100 l/s en de nieuwe pomp heeft een pompsnelheid van 100 l/s.
 g) Met behulp van een T-stuk sluit je een tweede pomp met dezelfde pompsnelheid aan. Deze heeft dezelfde pompsnelheid als de eerste pomp (50 l/s). Zie afbeelding.



- h) Welke van de werkende oplossingen heeft de voorkeur in de praktijk? Motiveer uw antwoord.

Vraag 5, VT-2025, 30 punten

Je ontvangt een testproduct waarvan de ontgassing bepaald moet worden in een RVS- vacuümkamer van 0.5 m x 0.5 m x 0.5 m.

Als pompsysteem wordt gebruikt: een gelagerde turbomoleculairepomp (TMP) met een effectieve pompsnelheid van 80 l/s aan de kamer en een draaischuifpomp met een pompsnelheid van 15 m³/h.

Als (partiële) drukmeters worden gebruikt: een Pirani manometer, een B&A manometer en een restgasanalysator (RGA) met een massabereik van 200 AME.

Je plaatst het testproduct met een ontgassing van 5×10^{-4} mbar l/s in de vacuümkamer; de ontgassing van de RVS-kamer zelf is 5×10^{-8} mbar l/s per cm².

- Bereken de druk in de vacuümkamer.
- Is de in a) berekende druk laag genoeg om de B&A aan te zetten? Motiveer uw antwoord.

Om vervuiling van de TMP tegen te gaan wordt er een baffle op gemonteerd.

De baffle heeft een geleidingsvermogen van 18,5 l/s.

- Bereken opnieuw de druk in de vacuümkamer.

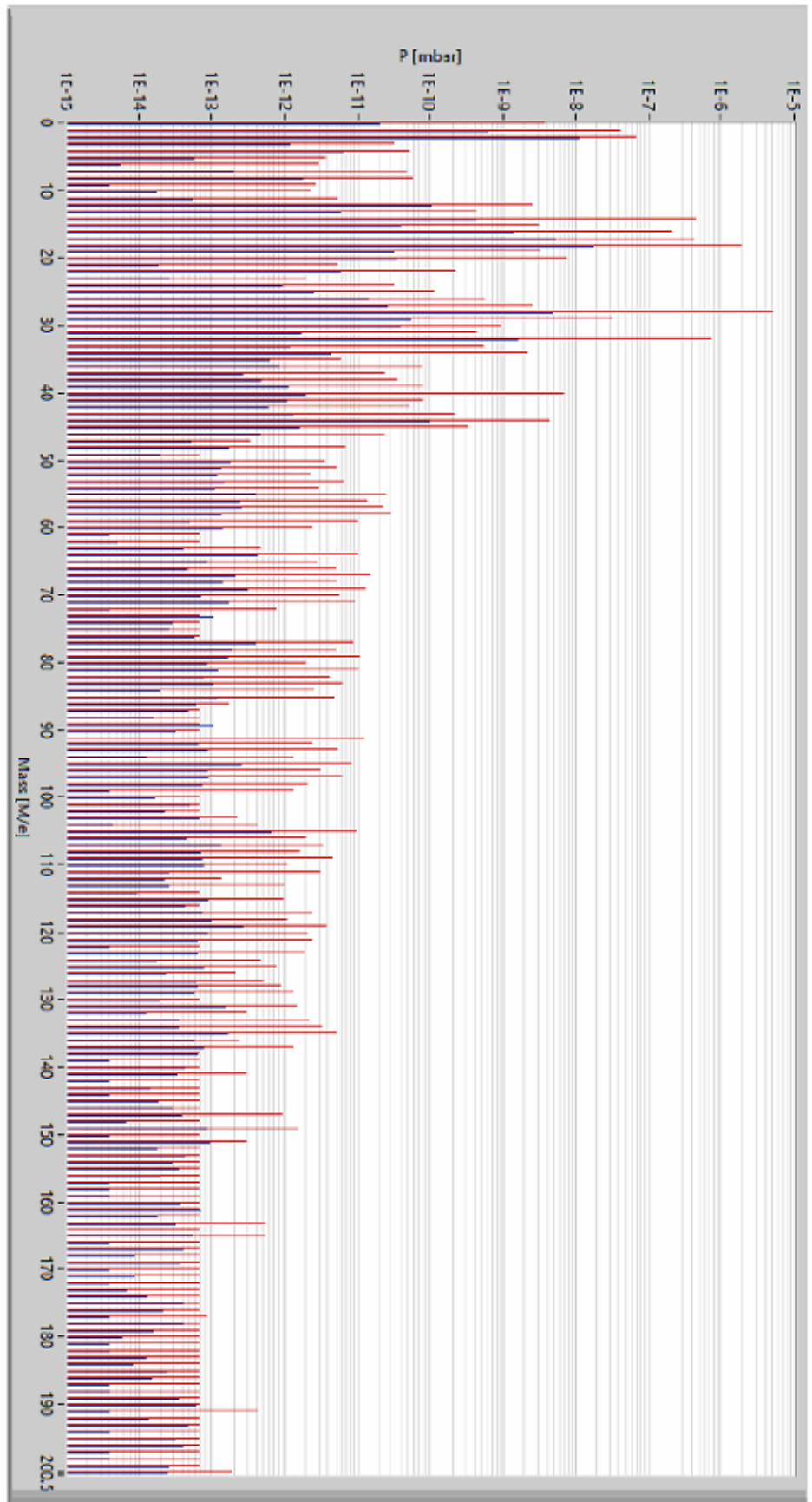
Werkwijze van testen:

Voordat er een restgasmeting van het testproduct kan worden gedaan, wordt een RGA-meting aan de lege vacuümkamer uitgevoerd. Vervolgens wordt de oven met droog stikstofgas belucht. Hierna wordt er een RGA-meting gemaakt van de vacuümkamer met het testproduct erin. Een gedeelte van de resultaten van deze meting zie je in het RGA spectrum op de volgende pagina.

- Het spectrum bevat informatie dat er een lek in het lege systeem zit. Leg uit waaruit u deze conclusie kunt trekken.
- Waaruit bestaan de massa's 45 t/m 200 typisch?
- Kunt u op basis van het massa spectrum concluderen of het om een normaal of een virtueel lek gaat? Motiveer uw antwoord.
- Je wilt het systeem gaan verbeteren zodat het schoner wordt (minder koolwaterstoffen). Hiervoor ga je de pompen in het systeem vervangen. Welke combinatie van pompen zou het meest geschikt zijn voor dit systeem? Zie onderstaande tabellen A en B.

RGA spectrum voor vraag 5

- Vacuümkamer met testproduct
- Lege Vacuümkamer



Tabellen voor vraag 5

Tabel A	Einddruk (mbar)	Pompsnelheid (m ³ /h)
Membraan Pomp	1	4
Multistage Rootsblower	5x10 ⁻²	14
Klauw pomp	50	65
Zuiger Pomp	5x10 ⁻⁴	200
Schroef pomp	0,1	350
Scroll pomp	7x10 ⁻³	15

Tabel B	Maximum voordruk (mbar)	Pompsnelheid (l/s)
oliediffusiepomp	< 0,86	750
lonengetterpomp	< 1x10 ⁻³	75
Maglev TMP + Drag stage	< 2	190
Cryopomp	< 2	1500
Titaansublimatie pomp	1x10 ⁻⁵	750
NEG pomp	< 3x 10 ⁻⁶	90

Vraag 1, VT2025, 10 punten

Zet een kruisje onder **Ja** als u het met de uitspraak eens bent. Zet een kruisje onder **Nee** als u het met de uitspraak oneens bent.

Uitspraak	Ja	Nee
Argon wordt goed gepompt door een kryopomp.	x	
Een kryopomp heeft continu een draaiende voorvacuümpomp nodig.		x
Het werkgebied van een kryopomp ligt tussen 10^{-1} en 10^{-8} Pa.	(x) <small>(staat in het oefenboek)</small>	x
De binnenzijde van het 10K kryopaneel is bedekt met actieve kool om waterstof te kunnen verpompen.	x	
Bij het regenereren van een kryopomp kan de tweede trap op lage temperatuur blijven.		x
Een titaansublimatiepomp is een transportpomp.		x
De pompsnelheid van een titaansublimatiepomp voor helium is hoog.		x
Bij een getterionenpomp wordt gebruik gemaakt van hoogspanning.	x	
In een getterionenpomp kunnen edelgassen worden gepompt door middel van ionenpompwerking.	x	
De goedkoopste getterionenpompen hebben geen magneet.		x
Ionen kunnen positief of negatief geladen zijn.	x	
Isotopen hebben hetzelfde aantal neutronen als elektronen.		x
Een RGA bestaat uit twee gedeeltes: een ionenbron en een ionencollector.		x
Een B&A ionisatie drukmeter is een gassoortafhankelijke meter.	x	
Elektronen in een B&A ionisatie drukmeter worden geëmitteerd door een koude kathode.		x
Een Penning drukmeter heeft een pompwerking.	x	
In een Penning drukmeter bewegen de elektronen naar de anode.	x	
Een thermokoppel drukmeter heeft een meetbereik van 10^5 tot 100 Pa.		x
Een Pirani drukmeter is een dichtheidsmeter.	x	
De aanwijzing van een mechanische Bourdonmanometer is afhankelijk van de atmosferische druk.	x	

Vraag 2, VT-2025, 20 punten

Naam:

Een turbomoleculaire pomp (TMP) is een veel gebruikte pomp om hoogvacuüm (HV) of ultrahoogvacuüm (UHV) te bereiken.

a) Geef het werkgebied aan van de HV- en de UHV-TMP:

HV: 10^{-3} mbar – 10^{-8} mbar **UHV:** 10^{-3} mbar – 10^{-10} mbar

b) Waar bevindt zich de dragstage in een TMP? Vink het juiste antwoord aan:

- direkt onder de inlaattflens van de TMP
- in het midden van de TMP
- bij de aansluiting van de voorvacuümpomp**

c) Welke beweringen zijn juist voor een hybride gelagerde TMP? Vink de juiste antwoorden aan:

- heeft geen kogellagers,
- heeft een accu zodat de pomp door kan draaien als de spanning weg valt
- gebruikt olie of vet voor de smering van de lagers**
- mag nooit op zijn kop worden gemonteerd
- is niet onderhouds vrij**
- heeft een kogellager en magnetisch lager**

d) Je hebt een TMP met een mebraanpomp als voorpomp. Welke bewering is juist?

Vink de juiste bewering aan:

- Deze TMP heeft een dragstage nodig.**
- Deze TMP heeft geen dragstage nodig.
- Het maakt niet uit of de TMP wel of geen dragstage heeft.

e) Ja, het principe is gebaseerd op richtingsverandering, deze is snelheidsafhankelijk en elke gassoort heeft een andere thermische snelheid. (Vanwege de verschillende massa's van de moleculen.)

f) Ja, want een splinterscherm dekt de opening van de TMP deels af en heeft daarom een geleidingsvermogen.

g) Welke factoren hebben invloed op de einddruk van een UHV systeem?

Vink de juiste antwoorden aan:

- virtueel lek,**
- extern lek,**
- afdichtingskeuze (CF-ringen of O-ringen)**
- magnetisch gelagerde turbomoleculaire pomp,
- type voorpomp,**
- orientatie van de turbomoleculaire pomp (horizontaal of verticaal)
- uitstoken van het vacuüm systeem**
- vingerafdrukken in de vacuümkamer**

Vraag 3, VT2025, 20 punten

- a) $\lambda = 1$ meter, dus p moet minimaal $6.7 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}$
- b) Turbopomp, Kryopomp of oliediffusiepomp ic.m. voorpomp: membraanpomp, multiroots, scrollpomp
- c) Een Penning of een Bayard Alpert ic.m. met een Pirani. Twee drukmeters, een voor hoge druk en een voor lagere druk.
Daarnaast een drukmeter bij de voorpomp om a) de voordruk te meten en evt. 2) de compressie van de turbo te bepalen.
- d) tekening. Controleer igv diffusiepomp en cryo de aanwezigheid van bypass.
Beluchtingsventiel, twee drukmeters, voorpomp en benodigde kleppen igv. bypass.
- e)
- f) sublimeren/ sublimatie
- g) vanwege de getterwerking van het titaan
- h) Omdat de deur vaak open moet is een metalen afdichting niet handig; elke keer is er een nieuwe metalen afdichting nodig.
- i) verwarmen enkele minuten voor het beluchten om wateradsorptie zoveel mogelijk te voorkomen. Wanneer bij het afpompen de pomp weer op toeren is en de druk nog maar langzaam zakt, de waterkoeling aanzetten.

Vraag 4, EVT-2025, 20 punten

- a) De beperkende factor voor het afpompen is het geleidingsvermogen van de slang. Bij een constructie van meerdere vacuümcomponenten in serie achter elkaar is de effectieve pompsnelheid altijd kleiner dan die van de component met de kleinste pompsnelheid / het kleinste geleidingsvermogen.
- b) Het lukt niet. De beperkende factor (de slang) bepaalt nog steeds de effectieve pompsnelheid.
Berekening: $1/20 + 1/100 = 6/100 \rightarrow C_{\text{totaal}} = 100/6 = 16.7 \text{ [l/s]}$
- c) Het lukt niet. Nog steeds is het kleinste geleidingsvermogen in het systeem (die van de slang) kleiner dan de benodigde pompsnelheid.
Berekening: $1/30 + 1/50 = 8/150 \rightarrow C_{\text{totaal}} = 150/8 = 18.75 \text{ [l/s]}$
- d) Het lukt niet. De component met het kleinste geleidingsvermogen (de slang) heeft nu weliswaar 40 l/s. Maar de totale pompcapaciteit zal altijd kleiner zijn dan deze waarde, wat de pompsnelheid van de pomp ook is.
Berekening: $1/40 + 1/50 = 9/200 \rightarrow C_{\text{totaal}} = 200/9 = 22.2 \text{ [l/s]}$
- e) Het lukt wel. De beperkende factor is nu de pompsnelheid van de pomp, de totale pompsnelheid zal dus altijd kleiner zijn dan 50 l/s. Maar we kunnen er wel van uitgaan dat de pompsnelheid groter is dan 40 l/s, omdat het geleidingsvermogen van de slang 10 keer groter is dan de pompsnelheid van de pomp. Omdat het geleidingsvermogen van de slang zo groot is, heeft het weinig invloed op de waarde van de totale pompsnelheid. De totale pompsnelheid zal dus net onder de 50 l/s zijn.
Berekening: $1/500 + 1/50 = 11/500 \rightarrow C_{\text{totaal}} = 500/11 = 45.5 \text{ [l/s]}$
- f) Het lukt wel. Geen van de twee componenten is de beperkende factor. Omdat we twee componenten van 100 l/s in serie achter elkaar zetten, zal de totale pompsnelheid de helft van 100 l/s zijn, namelijk 50 l/s.
Berekening: $1/100 + 1/100 = 2/100 \rightarrow C_{\text{totaal}} = 100/2 = 50 \text{ [l/s]}$
- g) Het lukt niet. De beperkende factor (de slang) bepaalt nog steeds de totale pompsnelheid.
Berekening: De pompsnelheden van de twee pompen worden bij elkaar opgeteld, zij leveren samen 100 l/s. $1/20 + 1/100 = 6/100 \rightarrow C_{\text{totaal}} = 100/6 = 16.7 \text{ [l/s]}$
- h) Oplossing e) (en nieuwe slang met 500 l/s gebruiken) heeft de voorkeur, omdat het goedkoper is en de pompsnelheden van de twee oplossingen vergelijkbaar zijn.

Vraag 5 VT 2025 , 30 punten

- a. Bereken de druk na 10 uur

Oppervlakte kamer : $50 \times 50 \times 6 = 15000 \text{ cm}^2$

Outgassing kamer: $5 \cdot 10^{-8} \times 15000 = 7.5 \cdot 10^{-5} \text{ mbar} \cdot \text{l/s}$

Totale outgassing = $7.5 \cdot 10^{-5} + 5 \cdot 10^{-4} = 1.25 \cdot 10^{-3} \text{ mbar} \cdot \text{l/s}$

$$Q/S = P$$

$$1.25 \cdot 10^{-3} / 80 = 1.56 \cdot 10^{-5} \text{ mbar (na 10 uur)}$$

- b. Is deze druk laag genoeg om de B&A aan te zetten?

Indien antwoord bij a Tussen 1000 en $1 \cdot 10^{-3} \text{ mbar}$

NEE

Indien antwoord bij a lager dan $1 \cdot 10^{-3}$ JA

- c. Bereken opnieuw de druk na 10 uur in het systeem

$$1/S_{\text{eff}} = 1/S + 1/C_i$$

$$1 / (1/80 + 1/18.5) = 15 \text{ l/s}$$

$$Q/S = P$$

$$1.25 \cdot 10^{-3} / 15 = 8.33 \cdot 10^{-5} \text{ mbar (na 10 uur)}$$

- d. Het spectrum bevat informatie dat er een lek is leg uit waar je dat aan kan afleiden

Stikstof piek hoger dan water, Verhouding Stikstof zuurstof ongeveer 80 : 20

- e. Koolwaterstoffen / C_xH_y / Hydrocarbons

- f. Je kunt niet onderscheiden op basis van dit spectrum of het een virtueel of normaal lek is.

- g. Je wilt het system gaan verbeteren zodat het schoner wordt (minder koolwaterstoffen) daarom ga je de pompen in het systeem vervangen. Welke combinatie van onderstaande pompen zou het meest geschikt zijn voor dit systeem.

Tabel A	Einddruk (mbar)	Pompsnelheid (m ³ /h)
Membraan Pomp	1	4
Multistage Rootsblower	$5 \cdot 10^{-2}$	14
Klauw pomp	50	65
Zuiger Pomp	$5 \cdot 10^{-4}$	200
Schroef pomp	0,1	350
Scroll pomp	$7 \cdot 10^{-3}$	15

Tabel B	Maximum voordruk (mbar)	Pompsnelheid (l/s)
oliediffusiepomp	< 0,86	750
Ionengetterpomp	< $1 \cdot 10^{-3}$	75
Maglev TMP + Drag stage	< 2	190
Cryopomp	< 2	1500
Titaansublimatie pomp	$1 \cdot 10^{-5}$	750
NEG pomp	< $3 \cdot 10^{-6}$	90