

# HyDelta

## **WP 1C – Leidingen en binneninstallaties (componenten)**

### D1C.4 – vraagnummer 185 - Huisdrukregelaars

Status: definitief

Dit project is medegefinancierd door TKI Nieuw Gas | Topsector Energie uit de PPS-toeslag onder referentienummer TKI2020-HyDelta.

## Document samenvatting

### Corresponderende auteur

Corresponderende auteur	Sander Lueb
Verbonden aan	Kiwa Technology B.V.
Email adres	sander.lueb@kiwa.com

### Document historie

Versie	Datum	Auteur	Verbonden aan	Samenvatting van de wijzigingen
1	03-08-2021	Arie Kooiman	Kiwa Technology	Concept eindrapportage
2	01-10-2021	Arie Kooiman	Kiwa Technology	Verwerking diverse opmerkingen
3	21-10-2021	Arie Kooiman	Kiwa Technology	Verwerking opmerkingen op versie 2
4	24-01-2022	Arie Kooiman	Kiwa Technology	Enkele taalkundige correcties

### Verspreidingsniveau

Verspreidingsniveau		
<b>PU</b>	Public	X
<b>R1</b>	Beperkt tot <ul style="list-style-type: none"> <li>Partners inclusief Expert Assessment Group</li> <li>Andere deelnemers aan het project inclusief Sounding Board</li> <li>Externe entiteit gespecificeerd door het consortium</li> </ul>	
<b>R2</b>	Beperkt tot <ul style="list-style-type: none"> <li>Partners inclusief Expert Assessment Group</li> <li>Andere deelnemers aan het project inclusief Sounding Board</li> </ul>	
<b>R3</b>	Beperkt tot <ul style="list-style-type: none"> <li>Partners inclusief Expert Assessment Group</li> </ul>	

### Document beoordeling

Partner	Naam
Kiwa Technology	Sander Lueb
Alliander	Rob Nispeling
Rendo	Johan Jonkman
Stedin	Dick Nieuwenhuizen
Enexis	Henk Smit
Enexis	Walter Koppenol
Westland Infra	Rick den Hartog
gAilar	Pieter Klijs
gAilar	Lianne Mostert
NEC, Kiwa Technology, DNV, TNO, NBNL, Stedin, Alliander	HyDelta Supervisory Group

## Samenvatting

Onderzocht is wat de risico's zijn indien een huisdrukregelaar niet wordt vervangen bij de overgang van aardgas naar waterstof. De mogelijke risico's zijn geïnventariseerd. In overleg met de begeleidings-/sparringsgroep zijn de risico's geïdentificeerd die nader onderzoek vergen. Op grond daarvan is een testprogramma vastgesteld, eveneens in samenspraak met de begeleidings-/sparringsgroep.

De netbeheerders hebben huisdrukregelaars uit hun net genomen, deels op grond van klachten en deels zonder dat sprake was van een klacht. Van deze regelaars is een 40-tal getest met waterstof. Op grond van de bevindingen zijn in overleg hieruit 10 regelaars geselecteerd die tevens met aardgas zijn getest.

De algemene conclusie op basis van de onderzoeken is, dat er geen veiligheidsrisico's zijn wanneer de huidige populatie huisdrukregelaars wordt toegepast bij de omschakeling van aardgas naar waterstof. Mogelijk kunnen wel meer storingen ontstaan door het gevoeliger (eerder) ingrijpen van de GGB (gasgebrekbeveiliging). Ook zullen sluitdrukken enkele mbars hoger worden bij waterstof. Dit is echter geen dringende reden om alle drukregelaars te vervangen, aangezien dit geen veiligheidsrisico zal veroorzaken omdat alle waterstoftoestellen zullen zijn voorzien van een vlambeveiliging. Indien een netbeheerder ervoor kiest om bij een omzetting naar waterstof de huisdrukregelaars te vervangen, dan hoeft dit niet direct te worden gedaan. Eventuele vervanging kan ook enige tijd later plaatsvinden; dit hoeft niet op de dag van de omschakeling.

- Bij relatief veel met waterstof geteste regelaars sluit de gasgebrekbeveiliging (GGB) vroegtijdig. Dit treedt vooral op bij het laten zakken van de inlaatdruk tot 17,5 mbar. Het faalgedrag van de GGB bij deze tests is bij aardgas en waterstof overigens gelijk. De minimum vereiste leveringsdruk is 23,4 mbar en daarmee is het vroegtijdig aanspreken in de praktijk ten gevolge van een te lage inlaatdruk niet erg waarschijnlijk. Vroegtijdig sluiten levert in ieder geval ook geen gevaarlijke situatie op. Wel kunnen er misschien eerder leveringsonderbrekingen door de GGB-functie optreden bij waterstof.
- Ook zijn er regelaars waarbij de vooraf gesloten GGB onbedoeld opent bij toename van de inlaatdruk tot 200 mbar. Dit zou een mogelijke veiligheidsissue bij 200 mbar netten kunnen zijn, ware het niet dat in installaties voor waterstof geen onbeveiligde toestellen zullen worden toegepast, aangezien nieuwe kooktoestellen sinds 2010 moeten zijn voorzien van een vlambeveiliging.<sup>1</sup>
- De regelkarakteristieken van waterstof bij 37,5 mbar en 100 mbar inlaatdruk liggen bij alle tevens met aardgas geteste regelaars een fractie (orde van grootte van een paar tiende mbar) onder de regelkarakteristieken van aardgas. Van dit marginale effect zijn geen consequenties in de praktijk te verwachten.
- Bij geen van de geteste regelaars is hinderlijk geluid of trilling waargenomen. Er zijn geen aanwijzingen dat bij toepassing van waterstof meer problemen dan bij aardgas op dit punt zijn te verwachten.
- Bij geen van de geteste regelaars is uitwendige lekkage geconstateerd. Wanneer een regelaar bij aardgas geen uitwendige lekkages vertoont, is dit bij toepassing van waterstof ook niet te verwachten.

---

<sup>1</sup> Of dit voor bestaande situaties met 200 mbar aardgaslevering een belangrijk veiligheidsissue is, zou nader moeten worden onderzocht. Maar dit valt buiten het bestek van het onderhavige onderzoek.

- De sluitdruk ligt bij waterstof enkele mbars hoger dan bij aardgas. Alleen in uitzonderlijke gevallen zou dit tot een grotere kans kunnen leiden dat een gasblok van een CV-toestel op waterstof niet wil openen bij de start. (NB. Voor de meeste gasblokken wordt een maximale inlaatdruk van 60 mbar opgegeven door de fabrikant).
- Inwendige lekkages van huisdrukregelaars bij waterstof zijn groter dan bij aardgas. Dit effect zal zich vertalen in hogere sluitdrukken.

Aan de netbeheerders wordt het volgende aanbevolen:

Bij de overgang op waterstof op grond van eigen afwegingen een keuze te maken voor het al dan niet vervangen van de bestaande drukregelaars, al dan niet met een GGB, die al dan niet is voorzien van een bypass. Deze keuze kan worden gemaakt aan de hand van de beslisboom in figuur 6, op basis van de argumenten voor en tegen de verschillende opties die in tabel 11 zijn gegeven.



## Table of contents

Document samenvatting .....	2
Samenvatting.....	3
1. Aanleiding.....	6
1.1. Algemeen.....	6
1.2. Probleemstelling.....	6
1.3. Onderzoeksvraag 185 .....	6
1.4. Doel .....	6
2. Methode.....	7
2.1. Werkwijze algemeen .....	7
2.2. Beschikbare informatie .....	7
2.3. Werkwijze specifiek.....	7
3. Testprogramma .....	9
4. Resultaten.....	11
4.1. Resultaten metingen met waterstof .....	11
4.2. Resultaten verificatiemetingen met aardgas .....	16
4.3. Falen gasgebrekbeveiliging bij waterstof versus aardgas. ....	18
4.4. Beschouwing meetresultaten .....	20
4.5. Beslisboom vervanging drukregelaars .....	25
5. Conclusies.....	28
6. Aanbeveling .....	29
Referenties .....	30
Bijlagen .....	31
I. Overzicht van vragen HyDelta WP1C .....	32
II. Overzicht samenstelling begeleidings- en sparringsgroep deelvraag 185 .....	33
III. Risico-inventarisatie .....	34
IV. Details Testprogramma .....	38
V. Geteste regelaars .....	40
VI. Schema testopstelling .....	43
VII. Foto's van de testopstelling .....	44
VIII. Gebruikte meetapparatuur .....	45
IX. Regelkarakteristieken waterstof en aardgas.....	46

## 1. Aanleiding

### 1.1. Algemeen

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het nationale onderzoeksprogramma HyDelta. Dit programma is gericht op het veilig inpassen van waterstof in de bestaande infrastructuur voor gastransport en gasdistributie en heeft als doel om barrières voor innovatieve waterstofprojecten weg te nemen. Het volledige onderzoeksprogramma is ingedeeld in werkpakketten. Voor een toelichting op de verschillende werkpakketten zie [www.hydelt.nl](http://www.hydelt.nl)

### 1.2. Probleemstelling

Bij huisdrukregelaars kunnen net zo als bij regelaars in gasstations een aantal problemen optreden als de huidige huisdrukregelaars worden toegepast voor waterstof. Een aantal mogelijke problemen zijn:

- Door de lagere dichtheid, stroomt waterstof gemakkelijker langs de regelklep, dat kan gevolgen hebben voor de stabiliteit van de regelaar.
- Om dezelfde energiehoeveelheid te leveren, zal er een drie maal zo groot debiet door de regelaar moeten stromen. Het is niet bekend wat de gevolgen zijn voor het regelgedrag van de klep of de geluidsproductie van de regelaar bij een (veel) grotere gasstroom.
- Regelaars kunnen een kleine hoeveelheid gas lekken door de ademopening. Het is niet bekend in welke mate deze hoeveelheid verandert bij toepassing van waterstof.
- Huisdrukregelaars kunnen door de verandering van het toegepaste medium mogelijk gevoeliger worden voor de problematiek van de sluitdruk in combinatie met waakvlamloze toestellen en/of binneninstallaties met kleine inhoud.

Daarnaast kunnen er andere problemen zijn die nu nog niet zijn geïdentificeerd.

Mogelijk zullen huisdrukregelaars bij een omzetting naar waterstof al vervangen moeten worden, maar het onderzoek kan ook uitwijzen dat eventuele vervanging ook enige tijd na de omschakeling plaats kan vinden (dus niet persé op de dag van de omschakeling).

### 1.3. Onderzoeksvraag 185

Deze rapportage geeft antwoord op de onderzoeksvraag 185 uit het werkpakket 1C Leidingen en binneninstallaties. De onderzoeksvraag is: Wat zijn de risico's indien een huisdrukregelaar niet wordt vervangen bij de overgang van aardgas naar waterstof?

### 1.4. Doel

Doelstelling van dit onderzoek is om alle mogelijke problemen bij toepassing van de huidige in gebruik zijnde huisdrukregelaars voor waterstof in kaart te brengen en deze, proefondervindelijk, te kwantificeren. Dat leidt tot een aanbeveling voor een vervolg (of de huidige huisdrukregelaars moeten worden aangepast of dat er aanvullend onderzoek nodig is).

## 2. Methode

### 2.1. Werkwijze algemeen

De uitvoering van dit onderzoek is afgestemd met een begeleidingsgroep en sparringsgroep. Beide groepen bestaan uit deelnemers vanuit de netbeheerders en leveranciers/fabrikanten (zie bijlage II).

De risico's in het kader van het gebruik van huisdrukregelaars voor waterstof zijn aangedragen door de deelnemers van de sparringsgroep. De risico-inventarisatie staat in bijlage III. Deze is vervolgens besproken waarbij, op basis van de reeds beschikbare rapportages (zie paragraaf 2.2), een voorstel voor een testprogramma is geformuleerd door de begeleidingsgroep en door de sparringsgroep vastgesteld. Het testprogramma staat in hoofdstuk 3 en de details daarvan in bijlage IV.

### 2.2. Beschikbare informatie

Kiwa heeft in het verleden verschillende onderzoeken uitgevoerd naar het functioneren van huisdrukregelaars die in het aardgasnet worden toegepast. Meer recent heeft gAvilar, de grootste leverancier van huisdrukregelaars in Nederland, onderzoek gedaan naar het regelgedrag en de geluidsproductie van hun regelaars met helium als medium [7]. De huisdrukregelaars van gAvilar vallen sinds 2019 onder een verklaring van Kiwa Nederland NV dat zij voldoen aan de keuringseis 214 voor de geschiktheid voor bijmenging tot en met 100% waterstofgas. Eigen metingen van gAvilar lieten oscillatie van de regelaar zien. Verder heeft RENDO een interne notitie opgesteld over de langeduurtest van drie CV ketels op waterstof op het terrein van Entrance [3].

De titels van de verschillende rapporten, de notities en de verklaring zijn te vinden onder de kop Referenties.

Testmethoden zijn beschreven in norm NEN 7239:2018 [8] met daarin eisen en testmethoden

### 2.3. Werkwijze specifiek

Kiwa heeft in samenspraak met de sparringsgroep, waarin behalve netbeheerders ook fabrikanten van drukregelaars zijn vertegenwoordigd, de risico's van het gebruik van waterstof bij huisdrukregelaars geïdentificeerd. Op basis hiervan heeft Kiwa een testprogramma opgesteld voor aanvullend onderzoek. Vervolgens hebben de netwerkbedrijven een aantal uit hun gasnet afkomstige huisdrukregelaars aangeleverd om te worden getest op hun regelgedrag bij toepassing van waterstof. Hiervoor hebben vijf netbeheerders (Liander, Enexis, Stedin, RENDO en Westland Infra) ieder 10 drukregelaars aangeleverd. Kiwa heeft uit deze 50 drukregelaars 40 stuks geselecteerd om te testen op waterstof.

De 10 regelaars die per netbeheerder werden uitgenomen moesten voldoen aan de volgende kenmerken:

- 5 stuks die zijn uitgenomen vanwege een te hoge sluitdruk.
- 5 stuks die uit het net worden genomen zonder dat sprake is van een klacht. Bij de keuze van deze exemplaren ging de voorkeur uit naar oudere typen die de betreffende netbeheerder zelf graag onderzocht wilde zien. Dit is ingegeven doordat er meer onzekerheid is over het functioneren van oudere, niet meer gangbare types.

Gegevens met betrekking tot de bouwjaren van de door de netbeheerders aangeleverde huisdrukregelaars staan in Tabel 1:

*Tabel 1 Gegevens van de met waterstof geteste huisdrukregelaars m.b.t. bouwjaren*

Aantal stuks getest:	40
Aantal bouwjaar onbekend	16
Aantal bouwjaar bekend	24
Bouwjaar oudste regelaar	1970
Bouwjaar jongste regelaar	2019
Gemiddelde van de bekende bouwjaren	2003

### 3. Testprogramma

#### Totstandkoming testprogramma

Het testprogramma is in overleg met de begeleidingsgroep/sparringsgroep als volgt tot stand gekomen:

- Op 27-1-2021 zijn de risico's besproken met de begeleidingsgroep/sparringsgroep.
- Op basis van de uitkomsten daarvan heeft Kiwa een concept testprogramma opgesteld.
- Dit concept testprogramma is op 24-3-21 besproken met de begeleidingsgroep /sparringsgroep.
- Vervolgens zijn als pilot vier huisdrukregelaars getest aan de hand van dit concept testprogramma.
- Op 14-4-21 zijn de resultaten van de eerste vier drukregelaars doorgenomen en is het testprogramma iets bijgesteld. De resultaten zijn van deze eerste vier regelaars zijn wel vergelijkbaar met de overige geteste regelaars.
- Vervolgens zijn de overige te testen drukregelaars getest aan de hand van het iets bijgestelde testprogramma.
- Op 28-5-2021 zijn de resultaten van de metingen met waterstof met de 40 drukregelaars besproken en zijn er 10 stuks geselecteerd voor verificatie metingen met aardgas.

#### Inhoud testprogramma

In het definitieve testprogramma zijn de volgende functies met waterstof getest bij 40 stuks van de aangeleverde drukregelaars (*toelichtende tekst is schuin gedrukt*):

- Omgevingsdruk en omgevingstemperatuur worden geregistreerd.
- Sluitdruk: eisen volgens 6.4.2.1 van NEN 7239:2018 (uitvoering test volgens 8.4.2 en 8.4.3). In afwijking van de norm is de inhoud van de testinstallatie  $12,7 \text{ dm}^3$  i.p.v.  $10 \text{ dm}^3$ .<sup>2</sup>  
*Volgens de norm wordt de sluitdruk 60 seconden gevolgd. In praktijk kan de druk erna nog oplopen door inwendige lekkage van de huisdrukregelaar. Daarom wordt de sluitdruk een kwartier gevolgd. Bij de beproeving van de sluitdruk wordt na 2 minuten de leidinginhoud verkleind (door het dichtzetten van een kraan direct na de gasmeter).*
- Lekdichtheid: Lekdichtheidsmetingen worden in beperkte mate uitgevoerd.  
*Er zijn geen problemen te verwachten voor wat betreft interne en externe dichtheid bij de toepassing van waterstof.*<sup>3</sup>
  - De uitwendige lekdichtheid wordt bepaald m.b.v. een gasdetector die is voorzien van een afstandshouder.

<sup>2</sup> Na de tests bleek dat de inhoud van de gasmeters anders was dan waar vooraf van was uitgegaan

<sup>3</sup> Aanvankelijk werd voorgesteld om lekdichtheidsmetingen uit te voeren aan 10 drukregelaars (5 met klachten en 5 zonder klachten) en alleen met waterstof. Bij een afwijking ten opzichte van KE 214 volgen verificatiemetingen met aardgas. In het overleg met de begeleidings-/sparringsgroep is dat gewijzigd in het controleren van de uitwendige gasdichtheid van alle te testen drukregelaars m.b.t. een gasdetector die is voorzien van een afstandshouder; gAvilar geeft aan geen probleem te verwachten van uitwendige lekkage van waterstof.

- Eisen voor de inwendige lekdichtheid van regelaars voor waterstof staan in KE 214.<sup>4</sup>. In afwijking van de bepalingmethode in dat artikel wordt de inwendige lekdichtheid berekend aan de hand van de meetresultaten van de verlengde sluitdruktest.
- Regelgedrag en capaciteit: beproeving volgens 8.4.2 en 8.4.3 van NEN 7239:2018. Met in afwijking daarvan alleen regelkarakteristieken bij inlaatdrukken van 37,5 en 100 mbar.  
*Daar waar  $Q_{nom}$  wordt benoemd wordt bij het testen met 100% waterstof een debiet van 15 m<sup>3</sup>/uur gehanteerd en met aardgas een debiet van 5 m<sup>3</sup>/uur. Dit zijn realistische verbruiken voor een huishoudelijke omgeving.*  
*NEN 7239 schrijft 200 mbar als maximum inlaatdruk voor. Het grootste deel van de bestaande drukregelaars kent echter een maximum druk van 100 mbar.*
- Geluid en trilling: Beoordeling op gehoor.  
*Omdat bij de tests het geluid van de gasmeter dominant was, waardoor geluidsmeting niet zinvol bleek, is alleen bepaald of er sprake was van hoorbare geluidsproductie door de huisdrukregelaar.*
- Gedrag gasgebrekbeveiliging: beproeving volgens 8.5.1 en 8.5.2 van NEN 7239: 2018. Tevens wordt gemeten wat de druk wordt na herstel van de gasgebrekbeveiliging.  
*Dit gebeurt bij een inhoud aan de uitlaatzijde van de drukregelaar van 12,7 dm<sup>3</sup> (NB. de norm schrijft voor: 10 dm<sup>3</sup>).*  
*Bij het onderzoek wordt aandacht gegeven aan de omvang van de gasstroom over de bypass van de gasgebrekbeveiliging (deze opening is gebaseerd op aardgas, bij waterstof zal er meer gas door dit kleine gaatje stromen)<sup>5</sup>.*

De betreffende metingen zijn bij 10 van de 40 geteste drukregelaars ook met aardgas uitgevoerd. Deze 10 met aardgas te testen drukregelaars zijn geselecteerd in overleg met de begeleidings-/sparringsgroep.

De details van de parameters die zijn gemeten alsmede het schema en de foto's van de meetopstelling staan in de bijlagen.

<sup>4</sup> KE 214, art. 4.2.2: De inwendige gasdichtheid van een huisdrukregelaar en combinatieregelaar moeten worden gemeten bij een druk van 300 mbar op de inlaatzijde en van 37,5 mbar op de uitlaatzijde. De inwendige dichtheid wordt uitgevoerd volgens NEN 7239:2018.

Het lek tussen de in- en uitlaatzijde mag ten hoogste 6,6 cm<sup>3</sup>/h bedragen

<sup>5</sup> NB. Of de uitstroom van waterstof via de bypass van de gasgebrekbeveiliging veilig is, zal onderdeel zijn van de beantwoording van vraag 101 (eveneens onderdeel van WP1C HyDelta).

## 4. Resultaten

In paragraaf 4.1 zijn de resultaten van de metingen met waterstof samengevat. De meetwaarden waarbij afwijkingen zijn gevonden zijn hierin oranje gearceerd.

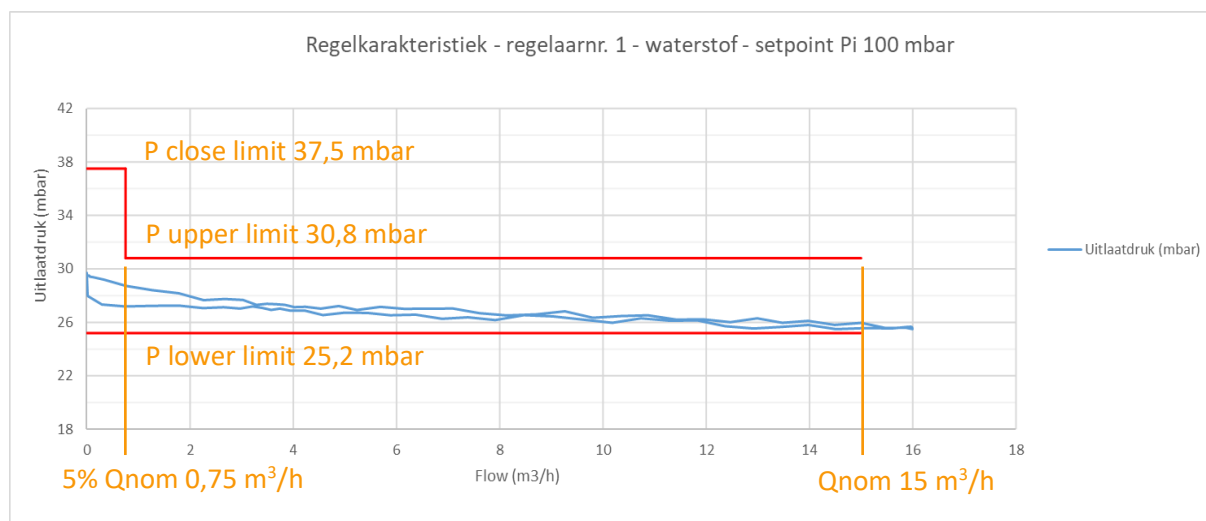
In overleg met de begeleidings-/sparringsgroep zijn 10 van deze drukregelaars geselecteerd om ook te testen met aardgas; zie de laatste kolom van Tabel 2. Dit om een vergelijking te kunnen maken tussen regelgedrag en sluitdruk met waterstof enerzijds en met aardgas anderzijds.

### 4.1. Resultaten metingen met waterstof

#### Regelgedrag, capaciteit, sluitdruk en gasgebrekfunctie

De regelkarakteristieken van drukregelaars moeten liggen binnen grenzen die door de norm NEN 7239: 2018<sup>6</sup> zijn aangegeven zoals hieronder weergegeven in een voorbeeldfiguur. Bij het meten van de regelkarakteristieken met waterstof is gemeten met een maximum capaciteit van 15 m<sup>3</sup>/h.

Alle uitgewerkte regelkarakteristieken zijn opgenomen in bijlage IX



Parameter	Grenswaarde volgens NEN 7239:2018
P close limit (mbar)	37,5
P upper limit (mbar)	30,8
P lower limit (mbar)	25,2

Figuur 1 Voorbeeldkarakteristiek met grenswaarden volgens NEN7239:2018

In tabel 2 zijn de meetresultaten met waterstof samengevat.

N.B. de gemeten regelkarakteristieken zullen iets meer aflopen en in het algemeen wat lager liggen doordat de druk is geregistreerd na de gasmeter, die voor extra weerstand zorgt. Wanneer de regelkarakteristiek net niet voldoet, is in een groen vakje de meetwaarde in mbar weergegeven voor zover die afwijkt van de grenswaarden. De minimale gemeten druk bij de maximale capaciteit van

<sup>6</sup> De meeste geteste regelaars hebben een bouwjaar van voor 2018. Deze regelaars hoeven formeel niet aan deze keuringseisen te voldoen.

15 m<sup>3</sup>/h wordt gegeven (NB. Voor Q<sub>nom</sub> > 0,75 m<sup>3</sup>/h is de onderste grenswaarde = 25,2 mbar; bovenste grenswaarde = 30,8 mbar).

Tabel 2 Samenvatting meetresultaten van 40 drukregelaars met waterstof

Monster#	wel/geen klacht	Regelgedrag 37,5 OK?	Regelgedrag 100mbar OK?	sluitdruk P <sub>f</sub> OK?	GGB OK?	Verificatie met aardgas
1	geen	min 24,7	ja	ja	ja	
2	geen	min 25,0	ja	ja	nvt	
6	wel	nee	nee	nee	nee	x
7	wel	ja	ja	nee	ja	
8	wel	ja	ja	ja	nee	
9	wel	max 30,9	nee	nee	nee	
10	wel	nee	nee	ja	nvt	
11	wel	ja	ja	ja	nee	
12	wel	ja	ja	ja	nee	
13	wel	ja	ja	ja	nee	
14	wel	ja	max 30,6	ja	nee	
16	geen	nee	ja	ja	nee	
18	geen	min 25,1	ja	nee	nee	x
19	wel	ja	ja	ja	nee	
21	wel	ja	nee	ja	nvt	
22	wel	ja	max 31,7	nee	nvt	
23	wel	ja	max 30,9	ja	nvt	x
24	wel	ja	ja	nee	nvt	
25	wel	nee	nee	nee	nvt	
26	wel	max 31,3	ja	nee	nvt	
28	wel	ja	nee	nee	nee	
31	onbekend	ja	ja	ja	nvt	x
33	onbekend	ja	ja	ja	nee	x
35	wel	ja	nee	nee	nvt	
36	wel	nee	min 24,7	ja	nee	
37	wel	ja	ja	nee	nvt	
38	wel	ja	nee	nee	nvt	
40	geen	ja	ja	nee	nvt	
41	geen	ja	ja	ja	nvt	
42	geen	ja	ja	ja	nvt	x
43	geen	ja	ja	ja	nvt	
44	wel	ja	max 31,2	nee	nee	
45	wel	ja	ja	ja	nee	
47	wel	ja	ja	ja	ja	x
48	geen	min 24,7	ja	nee	nvt	x
49	geen	ja	ja	ja	nvt	
50	geen	nee	ja	nee	nvt	x
51	geen	ja	ja	ja	nvt	
52	geen	min 24,7	ja	ja	nvt	x
53	geen	ja	ja	ja	nvt	



NB. De netbeheerders hebben meer drukregelaars aangeleverd dan nodig. In de tabel staan 40 geteste drukregelaars, terwijl de monsternummers doorlopen tot 53. Sommige van de aangeleverde drukregelaars waren of werden om verschillende redenen niet goed bruikbaar. Sommige door bijvoorbeeld beschadiging van de aansluiting, maar ook enkele door blootstelling aan een te hoge inlaatdruk vanwege het doorschieten van de door de testinstallatie toegeleverde druk.

Er zijn 18 drukregelaars met een GGB getest. Opvallend is dat van de meeste daarvan (14 stuks) met waterstof niet voldoen aan de keuringseisen. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door:

1. de stromingseigenschappen van waterstof, (en)/of
2. de testopstelling. Denkbaar is dat de GGB vroegtijdig zou kunnen laten vallen door trillingen van de in de testopstelling opgenomen gasmeter. Overigens zou daar dan ook in praktijksituaties sprake van kunnen zijn.

Vroegtijdig sluiten van de GGB treedt vooral op bij het laten zakken van de druk tot 17,5 mbar. Er zijn ook regelaars (nrs 13, 28 en 45) waarbij de vooraf gesloten GGB, onbedoeld opent bij toename van de druk tot 200 mbar. Overigens komen netdrukken  $\leq 17,5$  mbar vrijwel niet voor en bij een kortstondige drukdaling blijft de overlast beperkt en dit zal geen veiligheidsrisico veroorzaken omdat alle waterstoftoestellen zullen zijn voorzien van een vlambeveiliging.

### Geluid/trillingen

Bij geen van de regelaars is hinderlijk geluid of zijn trillingen waargenomen. Het geluid van de gasmeter overheerst. Trillingen of geluid kunnen bij elke regelaar optreden, ook bij aardgas, maar zijn ook altijd oplosbaar. Voor klachten uit het veld zijn goedkope retrofit oplossingen voorhanden, maar of het erger wordt met waterstof is nog maar de vraag. Er zijn geen aanwijzingen dat bij toepassing van waterstof meer problemen dan bij aardgas op dit punt zijn te verwachten.

### Externe lek dichtheid

Bij één regelaar (nr 23) is uitwendige lekkage geconstateerd van de pakking van de aansluiting, die daarop is vervangen voor de test. Bij de overige regelaars zijn geen externe lekken geconstateerd.

### Interne lek dichtheid en sluitdruk

In de hiernavolgende 2 tabellen staan de bevindingen van de metingen van de sluitdruk. Tevens is middels een berekening op basis van het volume en de gemeten drukken, een indicatie gegeven van de inwendige lekdebieten.

Bij de tabellen geldt:

- Conform NEN 7239:
  - $p_u = P_{\text{upstream}} = \text{inlaatdruk}$
  - $p_f = \text{sluitdruk}$
  - $p_d = P_{\text{downstream}} = \text{uitlaatdruk}$
- \* Berekening van de interne lekkage op basis van de toename van de druk in het gegeven volume gedurende 13 minuten waarbij atmosferische druk en temperatuur gas als constant zijn verondersteld.
- \*\* KE 214 schrijft een druk op de inlaat van 300 mbar en een druk op de uitlaat van 37,5 mbar voor. Bij die drukken mag het lek tussen in- en uitlaatzijde voor waterstof ten hoogste 6,6 cm<sup>3</sup>/h bedragen. Bij het onderhavige onderzoek is de lek dichtheid gemeten met een inlaatdruk van ongeveer 100 mbar en een sluitdruk met een afwijkende waarde. De uitlaatdruk bepaalt de kracht waarmee de klep wordt dichtgetrokken. NB. KE214 geldt overigens alleen voor nieuwe drukregelaars en niet voor bestaande zoals hier getest.

Tabel 3 Sluitdruk en lekdichtheid van met waterstof geteste regelaars (1)

Bepaling sluitdruk en lekdichtheid										
Monster #	Regelaar met wel of geen klacht	Medium	8.4.3: Voldoet Pd bij plotseling afsluiten bij Q50% + 15 min extra en kleinere V (blauwe kraan dicht) na 2 min H <sub>2</sub> : = Q50% = 7,5 m <sup>3</sup> /h CH <sub>4</sub> : = Q50% = 2,5 m <sup>3</sup> /h					Inhoud [dm <sup>3</sup> ] na verkleining		voldoet aan KE 214 (< 6,6 cm <sup>3</sup> /h)**
			pf bij pu =40 mbar na 60 s	pf bij pu =40 mbar na 120 s	pf bij pu =100 mbar na 60 s	pf bij pu =100 mbar na 120 s	pf bij pu = 100 mbar na 15 min	intrede [dm <sup>3</sup> ] in 13 min	indicatief lek (cm <sup>3</sup> /h)*	
1	geen	H2	-	-	30,9	30,9	33,4	0,015	69	nee**
2	geen	H2	34,2	33,9	32,2	31,9	33,1	0,007	33	nee**
6	wel	H2	38,5	38,6	59,0	59,0	63,1	0,024	110	nee
7	wel	H2	33,1	33,4	35,5	36,0	39,6	0,021	98	nee
8	wel	H2	33,2	33,2	32,1	32,0	32,9	0,005	25	nee**
9	wel	H2	37,1	37,7	41,7	42,5	46,7	0,025	114	nee
10	wel	H2	35,6	35,5	32,8	32,7	33,1	0,002	11	nee**
11	wel	H2	33,1	33,0	31,9	32,3	34,1	0,011	49	nee**
12	wel	H2	32,9	32,9	31,9	32,1	34,6	0,015	68	nee**
13	wel	H2	33,2	33,2	32,6	32,7	34,8	0,012	57	nee**
14	wel	H2	34,6	34,9	36,9	37,5	41,1	0,021	97	nee
16	geen	H2	31,9	31,8	30,6	30,8	32,6	0,011	49	nee**
18	geen	H2	34,7	35,4	38,9	40,1	46,6	0,038	177	nee
19	wel	H2	32,2	32,1	32,0	32,2	34,8	0,015	71	nee**
21	wel	H2	33,1	33,1	32,3	32,6	35,8	0,019	87	nee**
22	wel	H2	38,1	38,0	39,2	42,0	50,4	0,050	229	nee
23	wel	H2	36,6	36,4	34,3	34,3	36,0	0,010	47	nee**
24	wel	H2	37,0	36,9	34,8	35,0	39,2	0,025	115	nee
25	wel	H2	37,8	37,7	44,8	46,2	49,6	0,020	92	nee
26	wel	H2	34,8	34,8	35,7	37,4	53,2	0,092	427	nee

Tabel 4 Sluitdruk en lekdichtheid van met waterstof geteste regelaars (2)

Bepaling sluitdruk en lekdichtheid										
Monster #	Regelaar met wel of geen klacht	Medium	8.4.3: Voldoet Pd bij plotseling afsluiten bij Q50% + 15 min extra en kleinere V (blauwe kraan dicht) na 2 min H <sub>2</sub> : = Q50% = 7,5 m <sup>3</sup> /h CH <sub>4</sub> : = Q50% = 2,5 m <sup>3</sup> /h					Inhoud [dm <sup>3</sup> ] na verkleining		6,25 dm <sup>3</sup>
			pf bij pu =40 mbar na 60 s	pf bij pu =40 mbar na 120 s	pf bij pu =100 mbar na 60 s	pf bij pu =100 mbar na 120 s	pf bij pu = 100 mbar na 15 min	intrede [dm <sup>3</sup> ] in 13 min	indicatief lek (cm <sup>3</sup> /h)*	
28	wel	H2	35,6	36,5	46,7	50,3	63,5	0,078	361	nee
31	onb.	H2	34,5	34,4	32,3	32,3	33,0	0,004	20	nee**
33	onb.	H2	33,4	33,3	32,0	32,3	34,2	0,011	53	nee**
35	wel	H2	33,8	33,8	33,6	34,2	38,0	0,023	104	nee
36	wel	H2	31,4	31,4	30,1	30,3	32,8	0,015	70	nee**
37	wel	H2	32,7	32,9	33,6	34,9	43,8	0,053	247	nee
38	wel	H2	36,8	37,6	45,7	48,6	58,9	0,061	283	nee
40	geen	H2	33,6	33,8	33,3	34,0	40,3	0,037	172	nee
41	geen	H2	35,3	35,2	34,0	33,9	34,5	0,004	17	nee**
42	geen	H2	33,4	33,3	32,7	32,8	34,5	0,010	47	nee**
43	geen	H2	33,3	33,2	32,8	32,9	35,1	0,013	61	nee**
44	wel	H2	34,2	34,3	35,7	37,0	44,3	0,044	203	nee
45	wel	H2	33,3	33,1	32,6	32,5	34,1	0,010	45	nee**
47	wel	H2	32,6	32,5	31,2	31,3	33,4	0,013	58	nee**
48	geen	H2	38,0	38,0	35,8	35,7	36,0	0,002	8	nee
49	geen	H2	31,1	31,3	30,5	31,1	36,7	0,033	125	nee**
50	geen	H2	30,3	31,3	36,6	39,5	67,8	0,167	557	nee
51	geen	H2	34,3	34,1	33,3	33,2	34,2	0,006	27	nee**
52	geen	H2	33,6	33,5	30,8	30,8	32,5	0,010	42	nee**
53	geen	H2	36,7	36,7	34,6	34,7	36,7	0,012	54	nee**

Toelichting: Een te hoge sluitdruk is geen veiligheidsrisico.

**Resultaat samengevat:** Bij toepassing van waterstof voldoen in ieder geval 17 van de 40 geteste regelaars niet aan de eis zoals die geldt voor interne lekdichtheid van nieuwe regelaars. De geconstateerde afwijkingen leveren echter geen veiligheidsrisico op.

## 4.2. Resultaten verificatiemetingen met aardgas

Uit de 40 met waterstof geteste drukregelaars is een keuze gemaakt voor herhaling van de testen met aardgas met 10 drukregelaars, zoals aangegeven in tabel 2. In bijlage IV staan per netbeheerder de hoofdkenmerken van de door hen aangeleverde drukregelaars en hoe de keuze is gemaakt voor de 10 met aardgas te verifiëren drukregelaars. De netbeheerders willen vooral weten of en in hoeverre er meer sluitdrukklachten bij de huidige drukregelaars zijn te verwachten bij de distributie van waterstof. De kenmerken van de geselecteerde regelaars zijn nader aangegeven in tabel 5.

Tabel 5 Kenmerken van met aardgas te verifiëren drukregelaars

Monster nr.	Kenmerken en testresultaten met waterstof
6	wel klacht, regelgedrag 37,5 mbar en 100 mbar NOK, sluitdruk NOK, GGB NOK
18	geen klacht, regelgedrag 37,5 mbar bijna OK, 100 mbar OK, sluitdruk en GGB NOK
23	wel klacht, regelgedrag 37,5 mbar OK, 100 mbar bijna OK, geen GGB
31	onbekend wel of geen klacht, geen afwijkingen, geen GGB
33	onbekend wel of geen klacht, GGB NOK
42	geen klacht, testresultaten OK, geen GGB
47 <sup>7</sup>	wel klacht, geen afwijkingen, GGB OK
48	geen klacht, regelgedrag 37,5 mbar bijna OK en sluitdruk NOK; geen GGB
50	geen klacht, regelgedrag 37,5 mbar NOK en sluitdruk NOK; geen GGB
52	geen klacht, regelgedrag 37,5 mbar bijna OK, geen GGB

### Regelgedrag, capaciteit, sluitdruk en gasgebrekfunctie

Wanneer de regelkarakteristiek net niet voldoet, is in een groen vakje de meetwaarde in mbar weergegeven voor zover die afwijkt van de grenswaarden. Dit betreft drukken die net boven of onder de grenswaarden van 25,2 en 30,8 mbar vallen in het capaciteitsgebied tussen 0,25 en 5 m<sup>3</sup>/h.

De regelkarakteristieken met aardgas zijn ook opgenomen in bijlage IX

Tabel 6 Samenvatting meetresultaten van 10 drukregelaars met aardgas

Monster#	wel/geen klacht	Regelgedrag 37,5 OK?	Regelgedrag 100mbar OK?	sluitdruk P <sub>f</sub> OK?	GGB OK?	Verskil met waterstof?+ welk aspect
6	wel	nee	nee	nee	nee	nee
18	geen	ja	ja	nee	nee	ja (37,5 mbar)
23	wel	max 31,3	max 31,4	ja	nvt	ja (37,5 mbar)
31	onbekend	ja	ja	ja	nvt	nee
33	onbekend	ja	ja	ja	nee	nee
42	geen	ja	ja	ja	nvt	nee
47	wel	ja	ja	ja	ja	nee
48	geen	min 25,0	ja	ja	nvt	ja (sluitdruk)

<sup>7</sup> Oorspronkelijk was nr. 13 geselecteerd, maar deze is door een piek in de inlaatdruk defect geraakt. Daarvoor in de plaats is nr. 47 gekozen.

Monster#	wel/geen klacht	Regelgedrag 37,5 OK?	Regelgedrag 100mbar OK?	sluitdruk $P_f$ OK?	GGB OK?	Verskil met waterstof?+ welk aspect
50	geen	nee	ja	nee	nvt	nee
52	geen	ja	ja	ja	nvt	ja (37,5 mbar)

**Geluid/trillingen**

Bij geen van de regelaars zijn hinderlijk geluid of trillingen waargenomen. Het geluid van de gasmeter overheerst.

**Externe lekdichtheid**

Bij geen van de geteste regelaars is uitwendige lekkage geconstateerd.

**Interne lekdichtheid**

In de hiernavolgende tabel staan de bevindingen van de metingen van de sluitdruk. Tevens is middels een berekening op basis van het volume en de gemeten drukken een indicatie gegeven van de inwendige lekdebieten.

Tabel 7 Sluitdruk en lekdichtheid van met aardgas geteste regelaars

Bepaling sluitdruk en lekdichtheid										
Monster #	Regelaar met wel of geen klacht	Medium	8.4.3: Voldoet Pd bij plotseling afsluiten bij Q50% + 15 min extra en kleinere V (blauwe kraan dicht) na 2 min H <sub>2</sub> : = Q50% = 7,5 m³/h CH <sub>4</sub> : = Q50% = 2,5 m³/h					Inhoud [dm³] na verkleining		6,25 dm³
			pf bij pu =40 mbar na 60 s	pf bij pu =40 mbar na 120 s	pf bij pu =100 mbar na 60 s	pf bij pu =100 mbar na 120 s	pf bij pu = 100 mbar na 15 min	intrede [dm3] in 13 min	indicatief lek (cm³/h)*	voldoet aan NEN 7239 (< 10 cm³/h) <b>indicatief**</b>
6	wel	aardgas	39,0	39,1	55,9	55,8	55,4	-0,002	-11*	ja**
18	geen	aardgas	32,4	32,7	33,6	34,4	40,8	0,038	177	nee**
23	wel	aardgas	35,1	35,0	34,6	34,6	34,0	-0,004	-17*	ja**
31	onb.	aardgas	33,1	32,7	31,6	31,3	29,9	-0,008	-39*	ja**
33	onb.	aardgas	31,7	31,2	31,2	30,9	32,2	0,008	36*	ja**
42	geen	aardgas	32,6	32,5	32,4	32,3	32,4	0,001	3*	ja **
47	wel	aardgas	32,7	32,7	32,5	32,7	33,9	0,007	33*	ja **
48	geen	aardgas	35,3	35,1	33,4	33,3	31,5	-0,011	-50*	ja**
50	geen	aardgas	30,3	30,8	35,5	38,1	60,3	0,133	612	nee**
52	geen	aardgas	32,3	32,2	31,4	31,3	30,6	-0,004	-19*	ja **

Bij de tabellen geldt:

- \* Negatieve en positieve waarden (< ca. 50 cm<sup>3</sup>/h) voor het lekdebet moeten worden toegeschreven aan temperatuurdalingen resp.-stijgingen tijdens de meettijd van 13 minuten.

- \*\* NEN 7239 schrijft een druk op de inlaat van 300 mbar en druk op de uitlaat van 37,5 mbar voor. De uitlaatdruk bepaalt de mate waarmee de klep wordt dicht getrokken. Hier is lektheid gemeten met een inlaatdruk van ongeveer 100 mbar en een sluitdruk met een afwijkende waarde. Bij dat drukverschil mag het lek tussen in- en uitlaatzijde voor aardgas ten hoogste 10 cm<sup>3</sup>/h lucht bedragen. Alleen bij die de drukken die zijn voorgeschreven kan feitelijk worden gesteld of deze wel of niet voldoen aan NEN 7239.

#### Resultaat samengevat:

Bij toepassing van aardgas voldoen 7 van de 10 geteste regelaars aan de eis voor interne lektheid voor nieuwe regelaars. Het betreft alle gebruikte drukregelaars. Door veroudering kan de sluitdruk oplopen.

#### Vergelijking sluitdrukken

In onderstaande tabel staan de sluitdrukken na 15 minuten van de regelaars die zowel met waterstof als met aardgas zijn getest.

Tabel 8 Sluitdrukken met waterstof en met aardgas

Monster nr.	Sluitdruk met waterstof na 15 min [mbar]	Sluitdruk voldoet aan NEN 7239?	Sluitdruk met aardgas na 15 min [mbar]	Sluitdruk voldoet aan NEN 7239?	Verskil [mbar]
6	63,1	nee	55,4	nee	7,5
18	46,6	nee	40,8	nee	5,8
23	36,0	ja	34,0	ja	2,0
31	33,0	ja	29,9	ja	3,1
33	34,2	ja	32,2	ja	2,0
42	34,5	ja	32,4	ja	2,1
47	33,9	ja	33,4	ja	0,4
48	36,0	ja	31,5	ja	4,5
50	67,8	nee	60,3	nee	7,5
52	32,5	ja	30,6	ja	1,9

Te zien is dat in alle gevallen de sluitdruk bij waterstof hoger is dan bij aardgas. De verschillen zijn het grootste bij die regelaars waar de sluitdruk niet voldoet aan de eisen (geel gearceerd in de tabel).

### 4.3. Falen gasgebreekbeveiliging bij waterstof versus aardgas.

De gasgebreekfunctie kan op verschillende wijzen falen. Dit is in Tabel 9 nader uitgewerkt voor de regelaars waarbij deze functie niet voldeed, om na te gaan of daar onderscheid is te vinden in de faalkenmerken. De resultaten van de volgende tests zijn hierbij beschouwd.

1. Kolom 37,5→17,5 mbar (test 1):  
Bij Qnom:  $p_u = 37,5 \rightarrow 17,5$  mbar en vice versa na 60 s. Klep mag niet sluiten
2. Kolom 37,5→12,5 mbar (test 2):  
Bij Qnom:  $p_d = 12,5$  mbar  $p_u = 37,5 \rightarrow 12,5$  mbar en v.v. na 60 s. Klep mag niet openen
3. Kolom Niet inkomen GGB bij waakvlam (test 3):  
GGB laten vallen. Daarna bij  $p_u = 200$  mbar: Niet inkomen bij waakvlam-verbruik ( $p_u =$  normale regeldruk ca. 30 mbar)  $\approx$ 
  - a. H<sub>2</sub>: 0,05 m<sup>3</sup>/h
  - b. CH<sub>4</sub>: 0,016 m<sup>3</sup>/h

4. Kolom Doorslagdruk (test 4):  
 $P_u = 200$  mbar, verlagen tot 12,5 mbar, waardoor GGB sluit. Bij drukverhoging tot 150 mbar:  
 Niet inkomen na ingrijpen GGB bij nominaal verbruik en  $Q_{nom} \approx$ 
  - a.  $H_2$ : 15 m<sup>3</sup>/h
  - b.  $CH_4$ : 5 m<sup>3</sup>/h
5. Druk na herstel GGB bij 100 mbar voordruk.

Tabel 9 Wijze van falen van de gasgebreksfunctie bij waterstof versus aardgas

Monster nr.; gas	37,5→17,5 mbar test 1)	37,5→12,5 mbar test 2)	Niet inkomen bij waakvlam test 3)	Doorslag druk test 4)	Druk na herstel GGB [mbar] test 5)
6, $H_2$	NOK	OK	OK	OK	81,7
6, $CH_4$	NOK	OK	OK	OK	96,5
18, $H_2$	NOK	OK	OK	OK	73,0
18, $CH_4$	NOK	OK	OK	OK	95,9
33, $H_2$	NOK	OK	OK	OK	85,9
33, $CH_4$	NOK	OK	NOK <sup>1)</sup>	OK	85,0
47, $H_2$	OK	OK	OK	OK	72,2
47, $CH_4$	OK	OK	OK	OK	95,6

<sup>1)</sup> druk uitlaat loopt op tot 12,1 mbar waarna de GGB opent

**Resultaat:** Het faalgedrag van de GGB bij de tests 1) en 2) is bij aardgas en waterstof gelijk. Bij test 3) opent de GGB van regelaar nr. 33 bij een voordruk van 200 mbar aardgas terwijl er waakvlamverbruik is. Bij waterstof deed dit zich niet voor. Bij drie van de vier geteste regelaars is de druk na herstel van de GGB bij waterstof hoger dan bij aardgas. Dit zou iets eerder problemen kunnen geven voor het openen van het gasblok van een toestel.

#### 4.4. Beschouwing meetresultaten

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de resultaten per categorie geteste regelaars.

Tabel 10 Overzicht testresultaten in categorieën. De betreffende monsternummers zijn per categorie vermeld

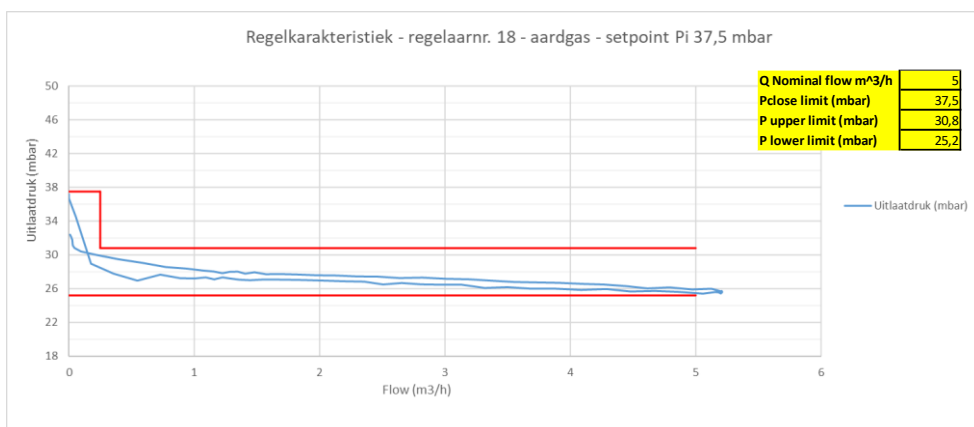
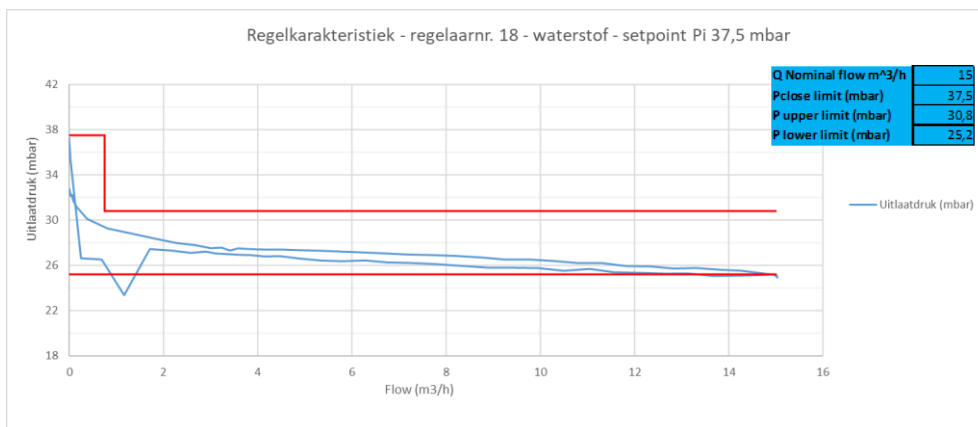
Categorie	Resultaatcategorie (en de daartoe behorende monsternummers)	aantal
Geteste huisdrukregelaars	<b>Totaal</b>	<b>40</b>
	Met klachten (6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 35, 36, 37, 38, 44, 45, 47)	24
	Zonder klachten (1, 2, 16, 18, 40, 41, 42, 43, 48, 49, 50, 51, 52, 53)	14
	Onbekend (31, 33)	2
Meetresultaten huisdrukregelaars met klachten	<b>Totaal</b>	<b>24</b>
	Alleen getest met waterstof; voldoen aan eisen	0
	Alleen getest met waterstof; voldoen niet aan eisen (7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 19, 21, 22, 24, 25, 26, 28, 35, 36, 37, 38, 44, 45)	21
	Getest met waterstof en aardgas; voldoen aan eisen (23, 47)	2
	Getest met waterstof en aardgas; voldoen niet aan eisen (6)	1
Meetresultaten huisdrukregelaars zonder klachten	<b>Totaal</b>	<b>14</b>
	Alleen getest met waterstof; voldoen aan eisen	0
	Alleen getest met waterstof; voldoen niet aan eisen (1, 2, 16, 41, 43, 48, 49, 51, 53)	9
	Getest met waterstof en aardgas; voldoen aan eisen (42, 52)	2
	Getest met waterstof en aardgas; voldoen niet aan eisen (18, 48, 50)	3
Meetresultaten huisdrukregelaars onbekend	<b>Totaal</b>	<b>2</b>
	Alleen getest met waterstof; voldoen aan eisen	0
	Alleen getest met waterstof; voldoen niet aan eisen	0
	Getest met waterstof en aardgas; voldoen aan eisen (31)	1
	Getest met waterstof en aardgas; voldoen niet aan eisen (33)	1

##### Verschillen in regelkarakteristieken

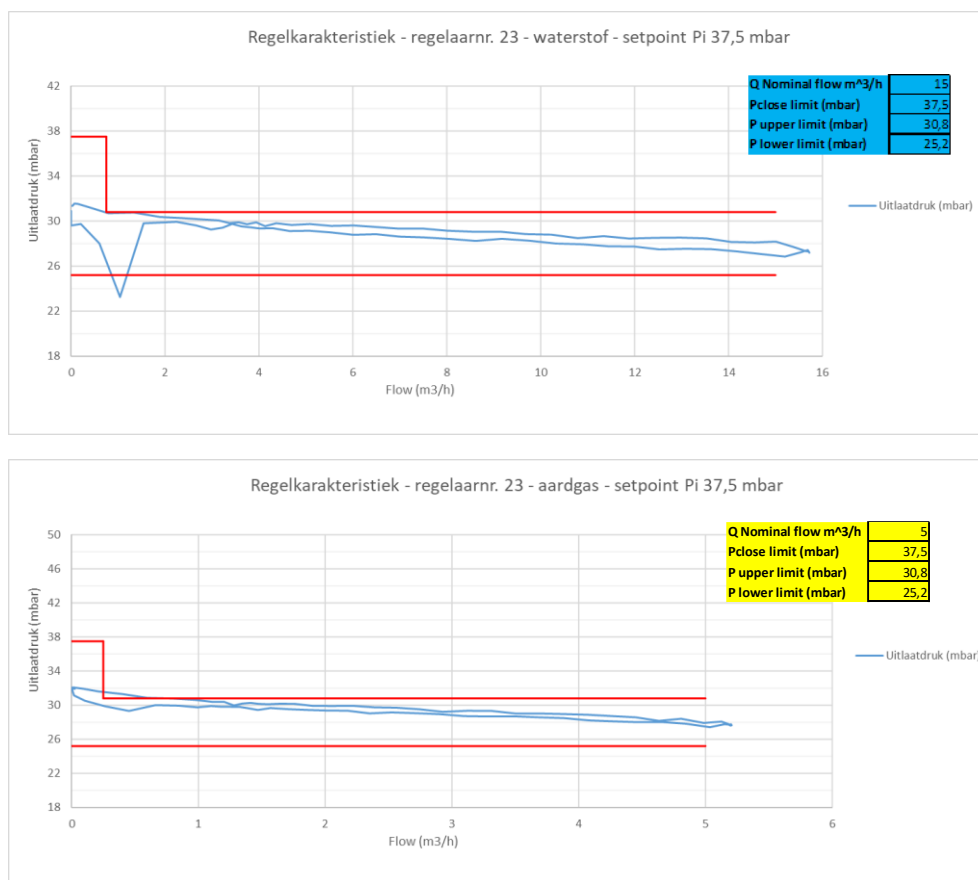
Bij nadere beschouwing van de regelkarakteristieken bij de vier regelaars (nr. 18, 23, 48 en 52) waar verschillen in het regelgedrag tussen waterstof en aardgas zijn gesignaleerd, is de conclusie dat deze verschillen marginaal zijn. Deze marginale verschillen beperken zich tot de testresultaten bij een inlaatdruk van 37,5 mbar. Hiernavolgend is te zien hoe groot de verschillen zijn in de regelkarakteristieken bij genoemde vier drukregelaars.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat de regelkarakteristieken iets lager kunnen liggen dan bij een officiële keuring volgens de norm NEN 7239, doordat in de testopstelling Pd gemeten is stroomafwaarts van een balgengasmeter die stroomafwaarts van de te testen regelaar is geplaatst en extra weerstand oplevert.



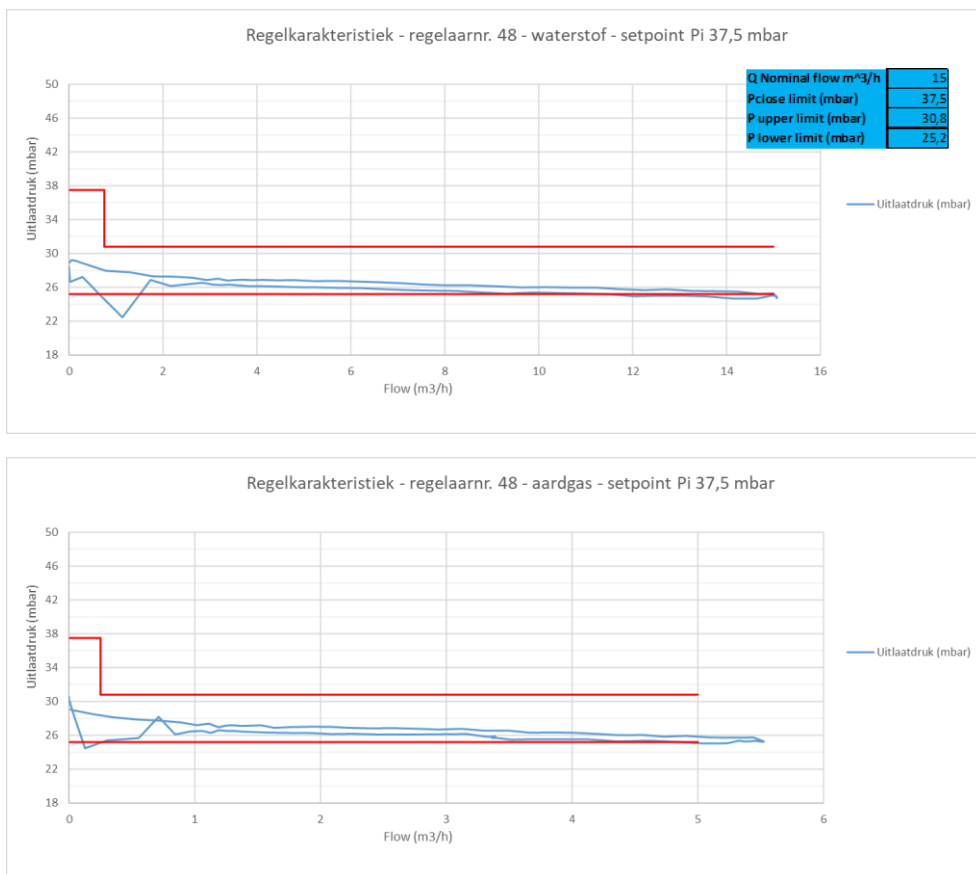


Figuur 2 Regelaar 18: Min. uitlaatdruk bij oplopende flow: waterstof 24,9 mbar, aardgas 25,4 mbar.  
NB de dip bij waterstof bij ca 1 m³/h is veroorzaakt door een inschakelverschijnsel van de voedingsdruk

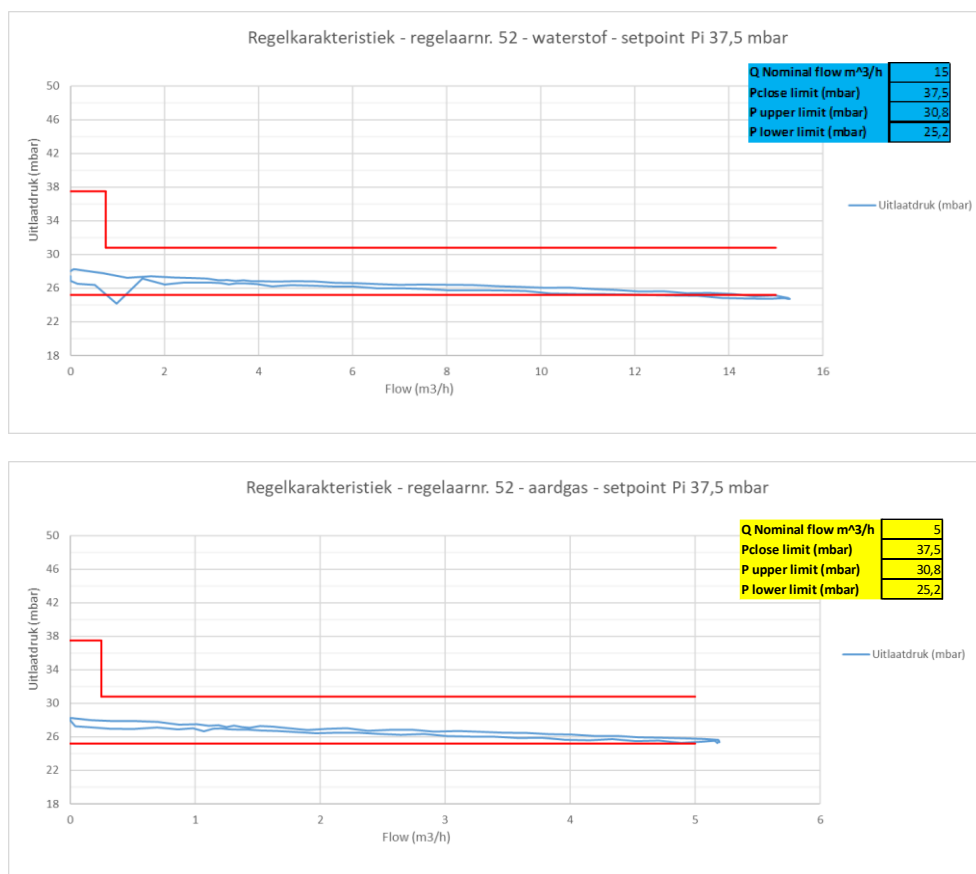


Figuur 3 Regelaar 23. Uitlaatdruk bij aflopende flow bij overgang Pupper limit naar Pclose limit: Waterstof: 30,7 mbar; aardgas 31,6 mbar.

NB de dip bij waterstof bij ca 1 m³/h is veroorzaakt door een inschakelverschijnsel van de voedingsdruk



Figuur 4 Regelaar 48. Min. uitlaatdruk bij oplopende flow: waterstof 24,7 mbar, aardgas 25,0 mbar.  
NB de dips bij lage flow zijn veroorzaakt door een inschakelverschijnsel van de voedingsdruk



Figuur 5 Regelaar 52. Min. uitlaatdruk bij oplopende flow: waterstof 24,7 mbar, aardgas 25,3 mbar.  
NB de dip bij waterstof bij ca 1 m³/h is veroorzaakt door een inschakelverschijnsel van de voedingsdruk.

Bij alle 10 dubbel geteste regelaars ligt de regelkarakteristiek van waterstof een fractie lager (enkel tienden mbars) dan bij aardgas. Bij regelaars waarbij de regelkarakteristiek met aardgas onderin het gebied van de toelaatbare drukken ligt, kan dat tot gevolg hebben dat deze regelaar met waterstof net iets onder de grenzen van de toelaatbare drukken valt. Dit effect kan worden toegerekend aan de reeds genoemde balgengasmeter in de testopstelling.

### Sluitdruk

De sluitdruk bij gebruik van waterstof ligt na 15 minuten meten enkele mbars boven de sluitdruk bij gebruik van aardgas. Bij een langere meettijd kunnen de drukken mogelijk nog verder oplopen. Het verschil is groter bij regelaars waarbij de sluitdruk bij aardgas niet voldoet aan de eis.

### Inwendig lek

Het inwendig lek van huisdrukregelaars is bij waterstof groter dan bij aardgas. Dit zal zich in de praktijk vertalen in een hogere sluitdruk.

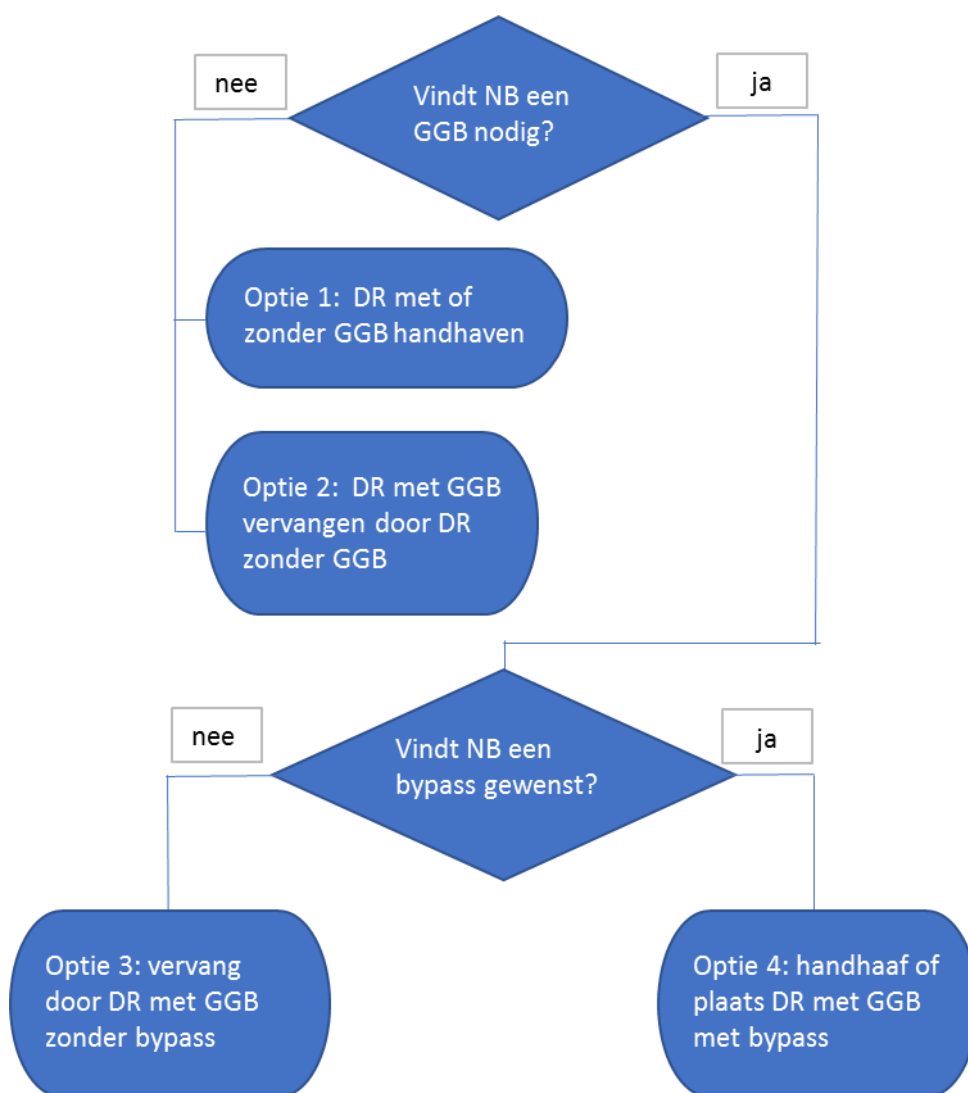
### Afwijkingen bij de gasgebreefunctie

Vroegtijdig sluiten van de GGB treedt vooral op bij het laten zakken van de inlaatdruk tot 17,5 mbar. De afwijkingen in het functioneren ten opzichte van de criteria in de keuringseis van de GGB bij deze tests is bij aardgas en waterstof overigens gelijk. Ook is er een kans dat de gasmeter het vallen van de GGB heeft veroorzaakt: de gasmeter zorgt voor een pulserende druk. De minimum vereiste leveringsdruk is 23,4 mbar en daarmee is falen als gevolg van een te lage inlaatdruk in de praktijk niet erg waarschijnlijk. Vroegtijdig sluiten levert in ieder geval ook geen gevaarlijke situatie op. Voor regelaar 33 waarbij de vooraf gesloten GGB onbedoeld bij aardgas opent bij toename van de

druk tot 200 mbar bij waakvlamverbruik geldt het volgende. Dit faalgedrag trad wel op bij aardgas, maar niet bij waterstof. Dit levert geen veiligheidsissue op bij waterstof<sup>8</sup>. Bovendien zullen in installaties voor waterstof geen toestellen zonder vlambewaking worden toegepast.<sup>9</sup>

#### 4.5. Beslisboom vervanging drukregelaars

Bij de overgang op waterstof kunnen netbeheerders op grond van eigen afwegingen een keuze maken voor het al dan niet vervangen van de bestaande drukregelaars, en al dan niet met een GGB, die al dan niet is voorzien van een bypass. Deze keuze kan worden gemaakt aan de hand van de beslisboom in figuur 6, op basis van de argumenten voor en tegen de verschillende opties die in tabel 11 zijn gegeven.



Figuur 6 Beslisboom keuze vervanging drukregelaar

De argumenten voor en tegen staan vermeld in tabel 11. Hierbij gelden de volgende uitgangspunten:

<sup>8</sup> Of dit voor bestaande situaties met 200 mbar aardgaslevering een belangrijk veiligheidsissue is, zou nader moeten worden onderzocht. Dit valt buiten het bestek van deze rapportage.

<sup>9</sup> Nieuwe op de markt komende kooktoestellen moeten volgens de CE-keur (sinds 2010) van een vlambewaking worden voorzien.

- Vooral nog is het beleid om ook binnenleidingen te spoelen met stikstof voordat deze (opnieuw) in gebruik worden genomen met waterstof
- De verschillende netbeheerders hebben een verschillende strategie om wel of geen GGB toe te passen
- Indien een netbeheerder kiest voor een optie met vervangen van DR met GGB dan is het consequent om ook in een 30 mbar net een GGB te plaatsen.

Tabel 11 De opties met de argumenten voor en tegen

Optie	Argumenten vóór	Argumenten tegen
Optie 1: DR niet vervangen maar handhaven	<p>Het eerder aanspreken van de GGB zal niet snel tot een klacht leiden. De druk moet noemenswaardig dalen. Bij een dip in de netdruk, herstelt de levering zichzelf.</p> <p>De bestaande drukregelaars functioneren goed met waterstof. Eerder openen GGB is geen veiligheidsissue want waterstof-toestellen hebben een vlambeveiliging.</p>	<p>Uit de tests komt naar voren dat een gesloten GGB bij waakvlamverbruik onbedoeld opent bij toename van de druk tot 200 mbar</p>
Optie 2: Vervang door DR zonder GGB	<p>De GGB zou iets meer aanleiding kunnen geven tot storingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vroegtijdig sluiten van de GGB</li> <li>- Onbedoeld openen van een gesloten GGB bij waakvlamverbruik bij toename van de druk tot 200 mbar</li> <li>- De druk na herstel van de GGB bij waterstof hoger is dan bij aardgas. Dit zou iets eerder problemen kunnen geven voor het openen van het gasblok van een toestel.</li> </ul>	<p>Dit kan ook zijn veroorzaakt door de meetopstelling. Zeker aangezien de GGB ook bij de aardgasmetingen te vroeg valt. Ervaring bij steekproeven door Gavilar is dat de GGB i.h.a. bij ca. 14 mbar valt (bij metingen met lucht). Bovendien kunnen nieuwe regelaars op een ander setpoint voor de GGB - activatie worden gezet. Niet alleen de gevoeligheid voor storingen, maar ook de beheersfunctie van de GGB moet worden afgewogen.</p>
	<p>Bij overgang naar waterstof distributie moet in de meeste gevallen een grotere gasmeter worden geplaatst. De binneninstallatie wordt dan op dichtheid beproefd. Derhalve verliest de GGB de bijkomende functie om een groot lek in de binneninstallatie te detecteren</p>	<p>De functie van de GGB ligt niet alleen bij de overgang op waterstof, wanneer de binnenleiding op lekdichtheid wordt getest. Denk ook aan de mogelijke gevolgen van ondeskundig klussen aan binneninstallaties. Deze worden zonder GGB minder snel opgemerkt.</p> <p>Qua capaciteit hoeft het misschien niet in alle gevallen een grotere gasmeter te worden. Het kan ook zijn dat de sector na regulering gedwongen wordt om sowieso een andere meter te plaatsen die aan de MID van waterstof voldoet (maar die is er nu nog niet).</p>

Optie	Argumenten vóór	Argumenten tegen
Optie 3: vervang door DR met GGB zonder bypass	Bij het wegvallen van de gasdruk wordt afgedwongen dat er weer wordt gespoeld met stikstof en met de druk de GGB weer wordt geopend	Dit geeft problemen met inbedrijfstelling.  Wanneer blijkt dat toestellen geen terugslag kunnen veroorzaken dan is het de vraag of het ook in de toekomst nog nodig is om met stikstof te spoelen.
Optie 4: vervang door DR met GGB met bypass	De beheersfunctie van het detecteren van lekken na wegvallen van de netdruk, blijft gehandhaafd.	Een binneninstallatie kan zich na werkzaamheden aan de binneninstallatie én ingreep/herstel van de GGB vullen met een explosief mengsel.

## 5. Conclusies

De algemene conclusie op basis van de onderzoeken is, dat er geen veiligheidsrisico's zijn te verwachten door huisdrukregelaars bij de omschakeling van aardgas naar waterstof. Mogelijk kunnen iets meer storingen ontstaan door een gevoeliger ingrijpen van de GGB. Dit is echter geen dringende reden om alle drukregelaars te vervangen, aangezien dit geen veiligheidsrisico zal veroorzaken omdat alle waterstoftoestellen zullen zijn voorzien van een vlambeveiliging. Indien een netbeheerder ervoor kiest om bij een omzetting naar waterstof de huisdrukregelaars te vervangen, dan hoeft dit niet direct te worden gedaan. Eventuele vervanging kan ook enige tijd later plaatsvinden; dit hoeft niet op de dag van de omschakeling.

- Bij relatief veel met waterstof geteste regelaars sluit de GGB vroegtijdig. Dit treedt vooral op bij het laten zakken van de druk tot 17,5 mbar. Het faalgedrag van de GGB bij deze tests is bij aardgas en waterstof overigens gelijk. De minimum leveringsdruk is 23,4 mbar en daarmee is vroegtijdig aanspreken in de praktijk niet erg waarschijnlijk. Vroegtijdig sluiten levert in ieder geval ook geen gevaarlijke situatie op. Wel kunnen er misschien eerder leveringsonderbrekingen door de GGB-functie optreden bij waterstof.
- Ook zijn er regelaars waarbij de vooraf gesloten GGB onbedoeld opent bij toename van de inlaatdruk tot 200 mbar. Dit zou een mogelijk veiligheidsissue bij 200 mbar netten kunnen zijn, ware het niet dat in installaties voor waterstof geen onbeveiligde toestellen zullen worden toegepast, aangezien nieuwe kooktoestellen sinds 2010 moeten zijn voorzien van een vlambeveiliging.
- De regelkarakteristieken van waterstof bij 37,5 mbar en 100 mbar inlaatdruk liggen bij alle tevens met aardgas geteste regelaars een fractie (orde van grootte van een paar tiende mbar) onder de regelkarakteristieken van aardgas. Van dit marginale effect zijn geen consequenties in de praktijk te verwachten.
- Bij geen van de geteste regelaars is hinderlijk geluid of trilling waargenomen. Er zijn geen aanwijzingen dat bij toepassing van waterstof problemen op dit punt zijn te verwachten.
- Bij geen van de geteste regelaars is uitwendige lekkage geconstateerd. Wanneer een regelaar bij aardgas geen uitwendige lekkages vertoont, is dit bij toepassing van waterstof ook niet te verwachten.
- De sluitdruk ligt bij waterstof enkele mbars hoger dan bij aardgas. Alleen in uitzonderlijke gevallen zou dit tot een grotere kans kunnen leiden dat een gasblok van een CV-toestel op waterstof niet wil openen bij de start. (NB. Voor de meeste gasblokken wordt een maximale inlaatdruk van 60 mbar opgegeven door de fabrikant van het gasblok).
- Inwendige lekkages van huisdrukregelaars bij waterstof zijn groter dan bij aardgas. Dit effect zal zich vertalen in hogere sluitdrukken.



## 6. Aanbeveling

Bij de overgang op waterstof kunnen netbeheerders op grond van eigen afwegingen een keuze maken voor het al dan niet vervangen van de bestaande drukregelaars, al dan niet met een GGB, die al dan niet is voorzien van een bypass. Deze keuze kan worden gemaakt aan de hand van de beslisboom in figuur 6, op basis van de argumenten voor en tegen de verschillende opties die in tabel 11 zijn gegeven.

## Referenties

- [1] Onderzoek naar kwaliteit van huisdrukregelaars in het veld GT-130058 - [Arend Herwijn en Michiel van der Laan, Kiwa 2013]
- [2] Kiwa Rapport GT 150028 - DNWB Huisdrukregelaars 05062015. - [Michiel van der Laan, Kiwa 2015].
- [3] notitie tbv test waterstof in container te Groningen INTERN versie 21 okt 2020 - [interne notitie Johan Jonkman, RENDO 2020].
- [4] Kiwa-Permeatie gAvilar drukregelaars Liander Def 2018.12.10 - [Arie Kooiman, Kiwa 2018].
- [5] 2021-02-RN Openingspiek WMRG regelaar vergeleken bij lucht en waterstof [Rinie Neelen, gAvilar].
- [6] W 20201221\_gAvilar B.V.\_AR 214\_106761-01 certificaat regelaar [Uitgave Kiwa NV].
- [7] Bevindingen Helium testen WMRG 14-11-2018 - 02-2021 [power point presentatie gAvilar 2021].
- [8] NEN 7239: 2018 Huisdrukregelaars, gasgebrekbeveiligingen en combinatieregelaars voor aansluitingen met een capaciteit van maximaal 10 m3 en een inlaatdruk (MOPu) tot en met 200 mbar
- [9] Keuringseis 214: 2019 Geschiktheid voor bijmenging tot en met 100% waterstofgas

## Bijlagen

## I. Overzicht van vragen HyDelta WP1C

In dit werkpakket worden de volgende vragen behandeld.

- Vraagnummer HyDelta 187: Onderzoek naar het veilig in- en uitbedrijf nemen van leidingsecties bij distributie van waterstof tijdens de ombouw naar een waterstofnet en wat zijn de daaraan gepaarde kosten.
- Vraagnummer HyDelta 124: Onderzoek naar uitvoering van de sterkte- en dichtheidsbeproevingen.
- Vraagnummer HyDelta 135: Wat is het effect van het bestaande gasnet op de kwaliteit van waterstof bij distributie en transport? (Zoals onder andere stof en vuil en THT)
- Vraagnummer HyDelta 185: Huisdrukregelaar: Wat is het risico indien deze niet aangepast wordt?
- Vraagnummer HyDelta 101: Onderzoek naar de risico's met betrekking tot bestaande gasinstallaties (bij de klant) bij omzetting van aardgas naar 100% waterstof.
- Vraagnummer HyDelta 61: Hoe sluiten de ontwikkelingen van alle componenten , die geschikt zijn voor 100% waterstof, in het distributienet (incl. aansluitingen), bij de binnen installatie en de gasverbruikstoestellen achter de meter op elkaar aan, zodat de hele keten op elkaar afgestemd is?
- Vraagnummer HyDelta 55: Hoe gaat een ombouw naar een waterstofnet eruit zien?

## II. Overzicht samenstelling begeleidings- en sparringsgroep deelvraag 185

Tabel 1. Samenstelling begeleidingsgroep en sparringsgroep

Naam	Werkgever	Begeleidingsgroep	Sparringsgroep
D. Nieuwenhuizen	Stedin	V	V
H. Smit	Enexis	V	V
W. Koppenol	Enexis		V
W.R. Nispeling	Alliander	V	V
R. den Hartog	Westland Infra		V
J. Jonkman	REND0	V	V
R. Scholten	REND0	V	V
A. Kooiman	Kiwa Technology	V	V
S. Lueb	Kiwa Technology	V	V
P. Klijs	gAvilar		V
L. Mostert	gAvilar		V
K. Havelaar	Honeywell		V
De begeleidingsgroep is een actievere rol toebedacht bij de uitvoering van het deelonderzoek in vergelijking met de sparringsgroep. De sparringsgroep is betrokken bij de opzet van het testprogramma en bij het beoordelen van de concept-rapportages.			

### III. Risico-inventarisatie

Kiwa heeft een overzicht opgesteld van mogelijke gebeurtenissen bij het omzetten van het aardgasnet naar een waterstofnet zonder aanpassingen aan de huisdrukregelaar Tijdens een bijeenkomst op 27-1-2021 met de begeleidings- en sparringsgroep is geïnventariseerd welke mogelijke gevolgen zouden kunnen plaatsvinden en welke onderzoeken nodig zijn om de risico's nader te bepalen. In onderstaande tabel staan de mogelijke gevolgen beschreven. Bij elke gebeurtenis is nagegaan wat reeds is onderzocht door de fabrikanten gAvilar en Honeywell of door de netbeheerders, welke rapportages reeds beschikbaar zijn en welke overige opmerkingen zijn gemaakt. Omwille van het overzicht zijn die kolommen niet opgenomen, maar die informatie is beschikbaar in de spreadsheet waarvan deze tabel een uittreksel is.

Nr	Omschrijving gebeurtenis	Soort gebeurtenis	Mogelijk gevolg	Nog aanvullend testwerk zinvol?	Wat te onderzoeken?
1	Overmatig geluid	Algemeen functioneren	hinder	Mogelijk combinatie bij beoogde metingen sluitdruk, regelgedrag en lekkage.	Bij de uit te voeren metingen kan het aspect geluid worden meegenomen.
2	Hogere snelheid	Algemeen functioneren	effect op algeheel functioneren	Ja. Gavilar; Verwachting geen problemen met snelheid en capaciteit voor drukregelaars van 10 tot 25 jaar oud. Mogelijk wel voor andere types uitzoeken.	
3	Trillingen in de drukregelaar	Algemeen functioneren	beperking levensduur van de huisdrukregelaar	Zie regel 1.	Zie regel 1 (trillingen zullen zich manifesteren als geluid)
4	Beperking in capaciteit	Algemeen functioneren	toestelstoringen	Ja	Nagaan welke capaciteit haalbaar is bij bestaande drukregelaars (test bijvoorbeeld 10, 20 en 30 m <sup>3</sup> /uur). <sup>10</sup>

<sup>10</sup> Debiet aardgas tbv cv en tapwater in een normale woning zal in de regel kleiner zijn dan 4 m<sup>3</sup>/uur (40 kW cv-combi-toestel, dat is al hoog). Bij overgang naar H<sub>2</sub> waarschijnlijk elektrisch koken. Op basis hiervan is het maximum debiet waterstof 12m<sup>3</sup>/uur. Besloten is om max debiet van 15 m<sup>3</sup>/h aan te houden bij de tests.

Nr	Omschrijving gebeurtenis	Soort gebeurtenis	Mogelijk gevolg	Nog aanvullend testwerk zinvol?	Wat te onderzoeken?
5	Corrosie	Algemeen functioneren	beperking levensduur van de huisdrukregelaar	Nee	N.v.t.
6	Vervuiling van de regelaar	Algemeen functioneren	effect op geheel functioneren	Ja	Rob Nispeling, veel te maken met vervuilde DR: voorstel om te onderzoeken of sluitdruk van wel en niet vervuilde DR bij H2 hoger is in vergelijking met aardgas.
7	Aantasting regelaar bij combinatie waterstof en zoutzuurgas	Algemeen functioneren	effect op geheel functioneren	Mogelijk, maar niet in het kader van deze deelvraag.	nader te bepalen <sup>11</sup>
8	Afwijkend gedrag bij drukstoot na herstel gasgebrek-beveiliging	Algemeen functioneren	te hoge druk	Ja	De hoogte van de druk na herstel gasgebrekbeveiliging. N.B. bij aardgas kan druk ook oplopen tot 80 mbar.
9	Vorming explosief mengsel bij ingreep/herstel gasgebrek-beveiliging	Algemeen functioneren	explosieve ontsteking	Niet in het kader van deze deelvraag.	n.v.t.
10	Instabiele drukregeling	Regelgedrag	toestelstoringen	Ja	Regelgedrag conform NEN 7239
11	Pendelgedrag bij normale ingaande druk	Regelgedrag	toestelstoringen	Ja	Regelgedrag conform NEN 7239
12	Pendelgedrag bij te hoge ingaande druk	Regelgedrag	toestelstoringen	Ja	Regelgedrag conform NEN 7239
13	Pendelgedrag bij te lage ingaande druk	Regelgedrag	toestelstoringen	Ja	Regelgedrag conform NEN 7239
14	Gedrag regelaar bij oplopende omgevings-	Regelgedrag	toestelstoringen	Ja	Regelgedrag conform NEN 7239

<sup>11</sup> Mogelijk in vervolgtraject nader onderzoeken.

Nr	Omschrijving gebeurtenis	Soort gebeurtenis	Mogelijk gevolg	Nog aanvullend testwerk zinvol?	Wat te onderzoeken?
	temperatuur (meterkastbrand)				
15	Te hoge geregelde druk	Regelgedrag	toestelstoringen	Ja	Regelgedrag conform NEN 7239
16	Te lage geregelde druk	Regelgedrag	toestelstoringen	Ja	Regelgedrag conform NEN 7239
17	Te hoge sluitdruk	Regelgedrag	toestelstoringen	Ja	Sluitdruk conform NEN 7239
18	Inwendige lekkage	Lekkage	toestelstoringen	Ja	Lekkage conform NEN 7239
19	Uitwendige lekkage	Lekkage	explosie, brand	Ja	Lekkage conform NEN 7239
20	Uitwendige lekkage via ademopening	Lekkage	explosie, brand	Ja	Lekkage conform NEN 7239
21	Gescheurd membraan	Lekkage	explosie, brand	In dit kader geen aanvullend onderzoek. Op basis van rapport GT-200237 van Kiwa Technology in opdracht van Netbeheer Nederland zijn geen problemen te verwachten met de zachte materialen in drukregelaars bij contact met H <sub>2</sub>	N.v.t.
22	Doorlaten membraan	Lekkage	explosie, brand	Ja	Lekkage conform NEN 7239



Nr	Omschrijving gebeurtenis	Soort gebeurtenis	Mogelijk gevolg	Nog aanvullend testwerk zinvol?	Wat te onderzoeken?
23	Doorlaten membraan door permeatie	Lekkage	explosie, brand	zie opmerking bij nr 21	n.v.t.
24	Verkleven van het membraan	Algemeen functioneren	toestelstoringen	zie opmerking bij nr 21	n.v.t.
25	<i>Bestendigheid gasblokken toestellen 60 mbar....</i>	<i>Algemeen functioneren</i>	<i>toestelstoringen, onjuiste gas/luchtverhoudingen bij de toestellen</i>	Ja	Zie regel 14
26	Invloed aanwezigheid waterstof op kunststof onderdelen	Algemeen functioneren	falen regelaar	Nee	n.v.t.

## IV. Details Testprogramma

De volgende gegevens zijn vastgelegd bij de metingen met waterstof van de 40 geteste drukregelaars: De nummering in onderstaande lijst komt overeen met de kolommen in de spreadsheet met meetresultaten.

Voorafgaand aan elke meting wordt eerst bepaald of het meetcircuit niet lekt.

Toelichting op de genoteerde waarden in de spreadsheet, aangeduid met de letters van de kolommen:

- A. Monsternummer
- B. Medium (Waterstof of aardgas)
- C. Atmosferische druk [mbar]
- D. Temperatuur testruimte [°C]
- E. Dichtheid circuit: Pinlaat [mbar]
- F. Pinlaat na 1 min [mbar]
- G. Dichtheid circuit: Puitlaat [mbar]
- H. Puitlaat na 1 min [mbar]

Vervolgens wordt de regelkarakteristiek en de capaciteit bepaald. Met een debiet voor:

H<sub>2</sub>: van 0 - 15 m<sup>3</sup>/h en v.v.

CH<sub>4</sub>: van 0 - 5 m<sup>3</sup>/h en v.v.

NB. Conform NEN 7239 worden de volgende aanduidingen gebruikt:

$P_u = P_{\text{upstream}} = P_{\text{inlaat}} = \text{inlaatdruk regelaar}$

$P_f = \text{sluitdruk}$

$P_d = P_{\text{downstream}} = P_{\text{uitlaat}} = \text{uitlaatdruk regelaar}$

- I. bij  $P_u = 37,5 \text{ mbar}$
- J. bij  $P_u = 100 \text{ mbar}$
- K. Is in de regelkarakteristiek  $P_d$  over hele bereik binnen grenzen fig. 3 van NEN 7239?

Daarna de bepaling van de sluitdruk en lekdichtheid. Vergelijk met NEN7239, par 8.4.3: Voldoet  $P_d$  bij plotseling afsluiten bij Q50% ?

+ 15 min langer meten bij een kleiner volume (kraan direct na gasmeter wordt dicht gezet) na 2 min.

Debieten:

H<sub>2</sub>: = Q50% = 7,5 m<sup>3</sup>/h

CH<sub>4</sub>: = Q50% = 2,5 m<sup>3</sup>/h

- L.  $P_f$  bij  $P_u = 40 \text{ mbar}$  na 60 s
- M.  $P_f$  bij  $P_u = 40 \text{ mbar}$  na 120 s
- N. Temp voor meting [°C]
- O. atm druk voor meting [mbar]
- P.  $P_f$  bij  $P_u = 100 \text{ mbar}$  na 60 s
- Q.  $P_f$  bij  $P_u = 100 \text{ mbar}$  na 120 s
- R.  $P_f$  bij  $P_u = 100 \text{ mbar}$  na 15 min
- S. Temp na meting [°C]
- T. atm. druk na meting [mbar]

Vervolgens wordt de werking Gasgebrekbeveiliging getest volgens NEN7239, par. 8.5.1 bij Qnom:

H<sub>2</sub>: 15 m<sup>3</sup>/h

CH<sub>4</sub>: 5 m<sup>3</sup>/h"

- U.  $P_u = 37,5 \rightarrow 17,5$  mbar en v.v. na 60 s. Klep mag niet sluiten.
- V.  $P_d = 12,5$  mbar  $P_u = 37,5 \rightarrow 12,5$  mbar en v.v. na 60 s. Klep mag niet openen.
- W. GGB laten vallen. Daarna bij  $P_u = 200$  mbar: Niet inkomen bij waakvlam-verbruik ( $P_u =$  normale regeldruk ca 30 mbar)  $\approx$  H<sub>2</sub>: 0,05 m<sup>3</sup>/h CH<sub>4</sub>: 0,016 m<sup>3</sup>/h.
- X. Doorslagdruk: 8.5.2  $P_u = 200$  mbar, verlagen tot 12,5 mbar waardoor GGB sluit. Bij drukverhoging tot 150 mbar: Niet inkomen na ingrijpen GGB bij nominaal verbruik met Qnom  $\approx$  H<sub>2</sub>: 15 m<sup>3</sup>/h en CH<sub>4</sub>: 5 m<sup>3</sup>/h
- Y. Druk na herstel bij 100 mbar voordruk [mbar]

Daarna wordt genoteerd of er hoorbare geluidshinder is bij 100 mbar voordruk en Qnom H<sub>2</sub>: 15 m<sup>3</sup>/h en wordt op uitwendige lekkage gecontroleerd met een gasdetector met meetkorf.

Z. Geluid OK?

AA. Uitwendig lek met meetkorf? [ppm]

BB. Opmerkingen

#### Hoofdkenmerken van de door netbeheerders aangeleverde drukregelaars

Netwerkbedrijf	Aantal met klachten	Aantal zonder klachten	Aantal klacht onbekend	Totaal
Westland	5	5	0	10
Stedin	8	3	0	11
Enexis	9	0	3	12
Rendo	5	5	0	10
Alliander	4	6	0	10
<b>Totaal</b>	<b>31</b>	<b>19</b>	<b>3</b>	<b>53</b>

#### Bevindingen van de met waterstof geteste regelaars en keuze voor tevens met aardgas te testen regelaars

kenmerk	Gedrag met H <sub>2</sub>	Aantal getest	Regelkar 37,5 mbar NOK	Regelkar 100 mbar NOK	Sluit-druk NOK	Regelkar + sluitdruk NOK	GGB NOK	Aantal te testen met aardgas	Keuze Kiwa nrs
geen klacht	OK	9	0	0	0	0	0	2	42 en 52
	Niet OK	5	2	0	4	2	nvt	3	18, 48 en 50
Met klacht	OK	2						2	23 en 13
	Niet OK	22	4	8	12	6	12	1	6
onbekend	OK	1						1	31
	Niet OK	1	1	1	1	0	1	1	33
<b>Totaal</b>		<b>40</b>						<b>10</b>	

NB. Daar waar in de kwalificatie "bijna OK" is gegeven, is in deze tabel "OK" gehanteerd.

## V. Geteste regelaars

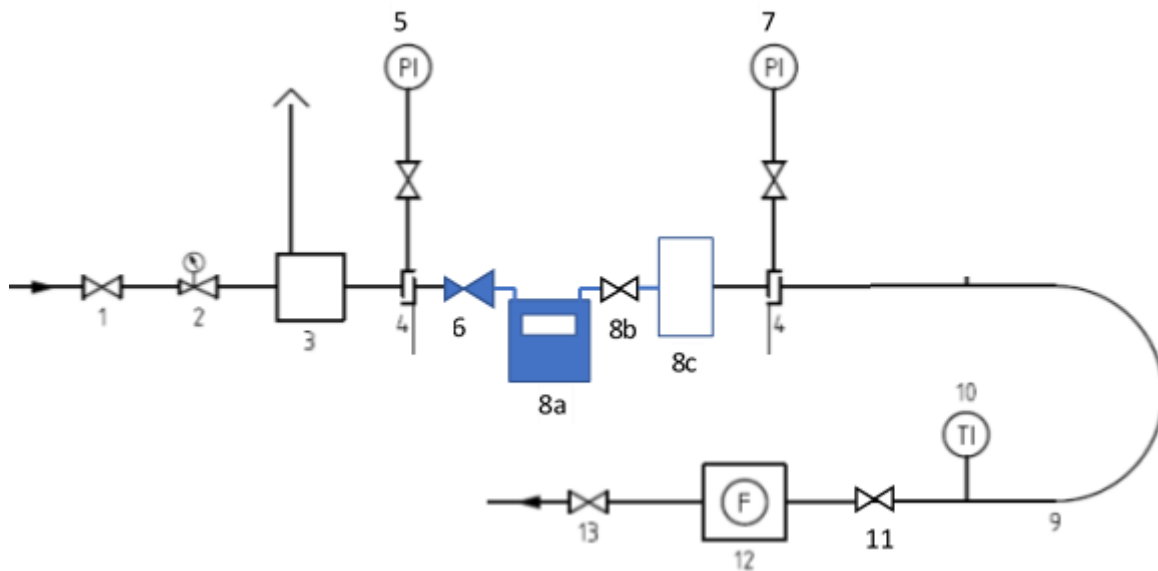
Kiwa nr.	Netbeh.	Fabrikant	Keur-merk	Bouwjaar	Type	GGB	Serienr	Adres uitname	Wel/ geen klacht	Aansluiting ingehend
1	Westland Infra	Itron	Gastec QA	2010?	WMRG-10	ja	2/1/002567	onbekend	geen	Anaconda
2	Westland Infra	Schlumberger	Giveg	?	WMR8	nee (blijkt bij test)	?	onbekend	geen	Anaconda
6	Westland Infra	Elster - Jeavons	QA	?	UPCO NOM 15mb	?	batch no. 1026601423	onbekend	wel	via meterbeugel
7	Westland Infra	Gavilar	Gastec QA	2014	WMRG-10	ja	14000573	onbekend	wel	Anaconda
8	Westland Infra	Consusa	Giveg	?	NL 20 E/B	ja	?	onbekend	wel	Anaconda
9	Westland Infra	Acataris	Gastec QA	2009?	WMRG-10	ja	2/1/024959	onbekend	wel	Anaconda
10	Westland Infra	Schlumberger	Giveg	?	WMR8	?	?	onbekend	wel	Anaconda
11	Stedin	Gavilar	Gastec QA	24/07/ 2018	WMRG-10-F	ja	18232970	Stoofplein 2, Oude-Tonge, Goeree Overflakkee	wel	via meterbeugel
12	Stedin	Gavilar	Gastec QA	20/09/ 2018	WMRG-10	ja	18911300	Parelgrijs 15, 2718 NW	wel	Anaconda
13	Stedin	Gavilar	Gastec QA	16/08/ 2016	WMRG-10-F	ja	16285094	Jaarsveldstraat 226, 2546 CW Den Haag	wel	via meterbeugel
14	Stedin	Gavilar	Gastec QA	?	WMRG-10	ja	2/1/031699	Vreeswijkstraat 264	wel	Fitverbinding
16	Stedin	Schlumberger	Giveg	20-01-95?	WMRG-10	ja	2/1/001751	Snoekenveen 876, Spijkenisse	geen	Fitverbinding
18	Stedin	Actaris	Gastec QA	?	WMRG-10-F	ja	4/0/024285	Rhederoord 112, 3079 JM, Rotterdam	geen	via meterbeugel
19	Stedin	Gavilar	Gastec QA	2016	WMRG-10-F	ja	16918797	Wildenborghstraat 137	wel	via meterbeugel
21	Stedin	Consusa	Giveg	?	NL 20 E (Syst. Rombach)	nee	?	Valkenboslaan 269, Den Haag	wel	Anaconda

Kiwa nr.	Netbeh.	Fabrikant	Keur-merk	Bouwjaar	Type	GGB	Serienr	Adres uitname	Wel/ geen klacht	Aansluiting ingaaand
22	Enexis	Elster Jeavons	Gastec QA	?	J42	ja	122260251	Musselweg 87, Mussel	wel	via meterbeugel
23	Enexis	Elster Jeavons	Gastec QA	2020	J42	ja	1014601309	Semstraat 5, Stadskanaal	wel	via meterbeugel
24	Enexis	Elster Jeavons	Gastec QA	?	J42	ja	1222602519	Borgercompagnie 132, 9331TL, Veendam	wel	via meterbeugel
25	Enexis	Schlumberger	Giveg	1993?	WM	ja	?	Zuidwending 281, Veendam	wel	via meterbeugel
26	Enexis	Schlumberger	Giveg	02/05/ 1995	NL-22 E	ja	?	Sportlaan 149, Nieuw-Amsterdam	wel	Fitverbinding
28	Enexis	Joh. Bierman Groenlo Rombach- regelaar	Giveg	1970	ZR 20 B - .. "	ja	244620	Rolderstraat 41, De Kiel	wel	Fitverbinding
31	Enexis	Schlumberger	Gastec QA	04/01/ 1997	NL-22 E	nee	?	Musselkanaal	?	Fitverbinding
33	Enexis	Schlumberger/ Rombach	DIN- DVGW- Nr. 87.22e 056 t	?	ZR 20 - 3/4" voor aardgas	ja	?	Noorderdiep, Valthermond	?	Fitverbinding
35	Rendo	Gavilar	Gastec QA	2019	WMR-10	nee	19397176	Kanaalweg 97A, Hoogeveen	wel	Anaconda
36	Rendo	Schlumberger	Giveg	1990	WMRG-10	ja	02/1/04622	Het Anker 55, Hoogeveen	wel	moer
37	Rendo	Gavilar	Gastec QA	2013	WMR-10	nee	1/1/0113228	Schumerstraat 25, Wilhelminaoord	wel	moer
38	Rendo	Wilson	Giveg	1979	WMR8	nee	?	Beukencamp 11, Hoogeveen	wel	vaste draad op regelaar
40	Rendo	Gavilar	Gastec QA	2015	WMR-10	nee	15253848	Schoolstraat 14, Uffelte	geen	Anaconda
41	Rendo	Schlumberger	Gastec QA	1997	WMR-10	nee	1/1/013337	De Zende 30, Steenwijk	geen	vast draad op regelaar
42	Rendo	Gavilar	Gastec QA	2013	WMR-10	nee	1/1/004003	Achterstraat 8A, Diever	geen	vast schroefdraad
43	Rendo	Actaris	Gastec QA	2004	WMR-10F	nee	5/0/009968	Troelstraplein 88, Meppel	geen	via meterbeugel

Kiwa nr.	Netbeh.	Fabrikant	Keur-merk	Bouwjaar	Type	GGB	Serienr	Adres uitname	Wel/ geen klacht	Aansluiting ingaand
44	Alliander	Gavilar	Gastec QA	2018	WMRG-10	ja	18032438	omgeving Nijmegen	wel	vast draad op regelaar
45	Alliander	Gavilar	Gastec QA	2019	WMRG-10	ja	19214381	omgeving Nijmegen	wel	vast draad op regelaar
47	Alliander	Actaris	Gastec QA	?	WMRG-10-F	ja	4/0/051848	omgeving Nijmegen	wel	via meterbeugel
48	Alliander	Itron	Gastec QA	?	WMRG-10-F	ja	4/0/093538	Hoofderburg 76, 1191 NJ Ouderkerk aan de Amstel	geen	via meterbeugel
49	Alliander	Wilson	Giveg	?	?	nee	?	Trompenburgstraat Amsterdam	geen	Anaconda
50	Alliander	Conval	Giveg	1971	A-25	nee	?	Trompenburgstraat Amsterdam	geen	Anaconda
51	Alliander	Schlumberger	Gastec QA	2000	WMR-10-F	nee	5/0/012609	7103 DS	geen	via meterbeugel
52	Alliander	Schlumberger	Giveg	1986	WMR-8-F	nee	02/0/16799	7051 ZV	geen	via meterbeugel
53	Alliander	Schlumberger	Giveg	1989	WMR-8-F	nee	05/0/32680	7103 AD	geen	via meterbeugel

## VI. Schema testopstelling

In afwijking van het schema uit 8.1.1. van NEN 7239 is stroomafwaarts van de te testen huisdruk/combinatieregelaar een gasmeter opgenomen. Dit geeft een extra weerstand waardoor de regelkarakteristiek iets lager uit kan vallen.



Legenda:

1. Afsluiter inlaatzijde
2. Combinatieregelaar voor de inlaatdruk
3. Hulpvolume voor de inlaatdruk
4. Aansluiting meetpunt
5. Meting inlaatdruk
6. Te testen huisdruk/combiregelaar
7. Druktransmitter met registratie apparatuur voor de uitlaatdruk (responstijd <100 ms)
- 8a. Balgengasmeter G6
- 8b. Afsluiter
- 8c. Hulpvolume voor de uitlaatdruk
9. Totale inhoud van de beproevingsinstallatie tussen uitlaat van de beproeven regelaar (nr. 6) en de magneetafsluiter = 12,7 dm<sup>3</sup>
10. Temperatuurmeter
11. afsluiter
12. Doorstroommeter
13. Regelaafsluiter



## VII. Foto's van de testopstelling



- Linksboven: voedingsinstallatie van de te testen meteropstelling met drukregelaar
- Rechtsboven: drukregelaar, aangesloten met anaconda, direct op gasmeter gemonteerd
- Links midden: inhoud installatie gesimuleerd met rol koper
- Rechts midden: de meetbuizen met mass flow controllers
- Links onder: apparatuur voor registratie van de meetgegevens
- Rechts onder: Voor de controle van de werking van de gasgebrekbeveiliging is een waakvlambrandertje aangesloten. Het gas stroomt uit in de buitenlucht.



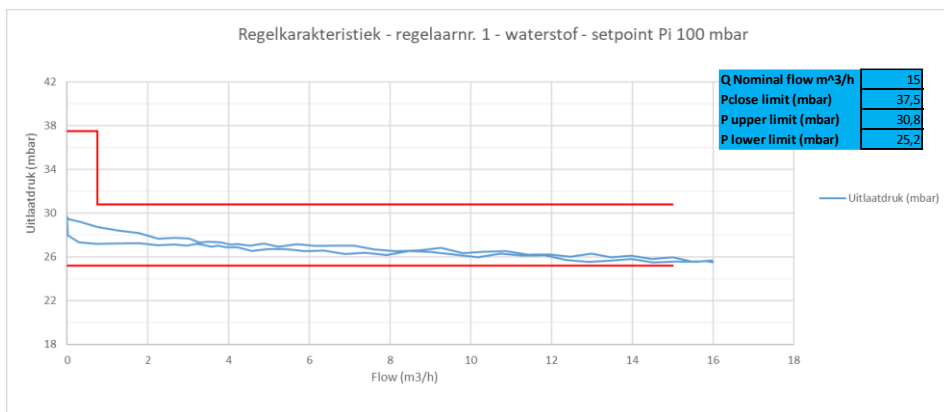
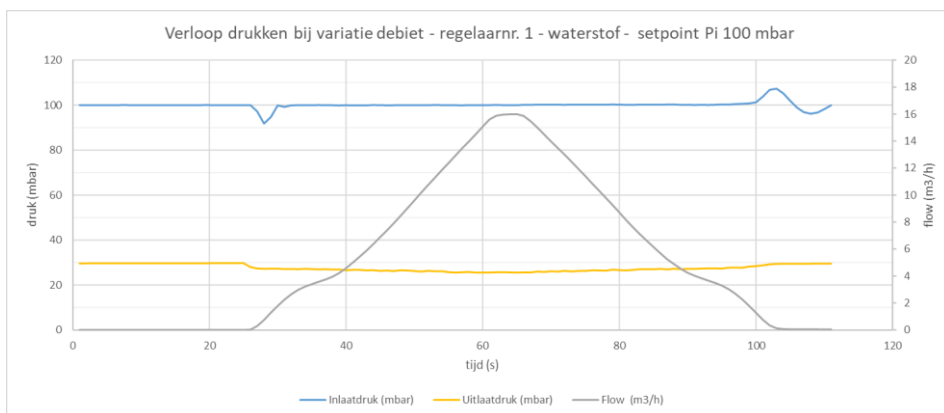
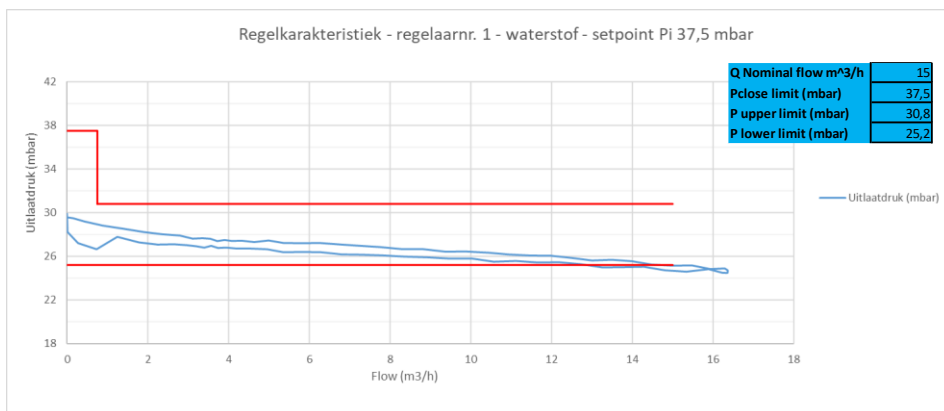
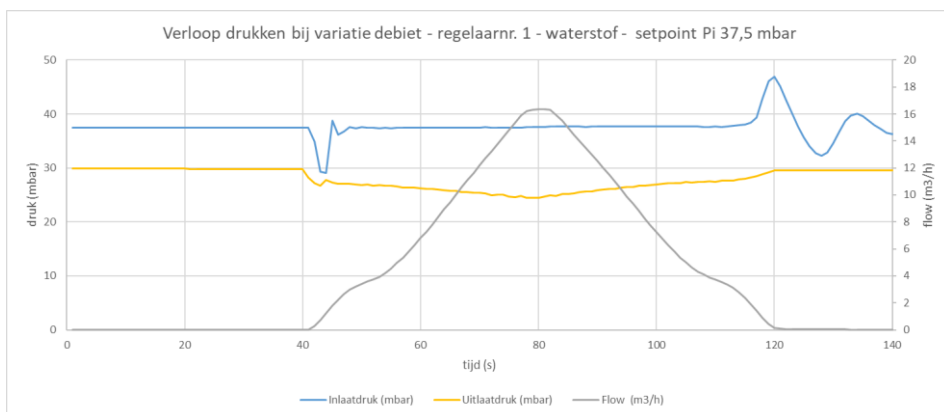
## VIII. Gebruikte meetapparatuur

Omschrijving	Fabrikaat en type	Kiwa nr. / kenmerk
Mass Flow Controller waterstof	Bronkhorst, F-106BZ-RAD-01-V 60 m <sup>3</sup> /h	114573
Mass Flow Controller aardgas	Bronkhorst, F-106AZ-RAD-01-V 12 m <sup>3</sup> /h	114574
Drukmeter Pin	Bronkhorst EL-PRESS P-502-C	114570
Drukmeter Puit	Bronkhorst P-502C-350R-RAD-59-V	114571
Drukmeter Puit	Digitron B2021P	112064
Lekzoekmeter H <sub>2</sub>	Sewerin Ex-Tec PM4	110976
Lekzoekmeter CH <sub>4</sub>	Sewerin Ex-Tec PM4	113807
Drukmeter atmosfeer	BlueLine S4602 ST	113737
Temperatuurmeter	Mera	102412
Gasmeter (onderdeel van volume leidingwerk, niet om te meten).	Flonidan UNIFLO G6SRT	Metercode: G0065 P/N 19291868 Jaar: 2019

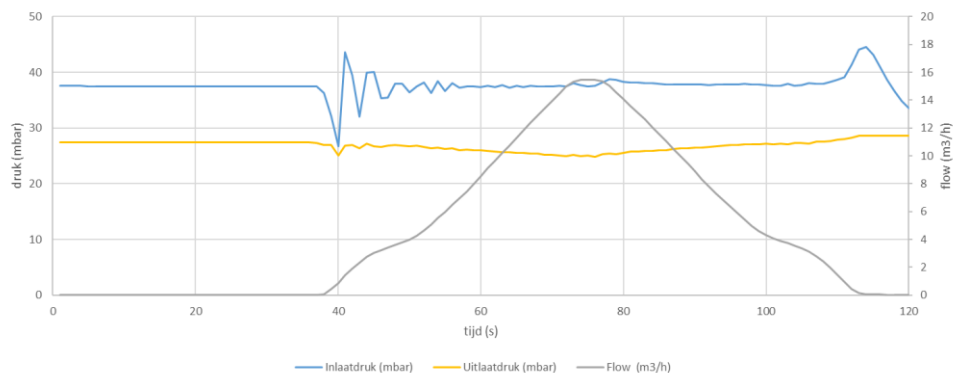
## IX. Regelkarakteristieken waterstof en aardgas

Voor elke test is een verloop van de druk als functie van het debiet(flow) weergegeven. In de tweede grafiek is deze omgezet naar een regelkarakteristiek. In de regelkarakteristiek is het verloop te zien voor achtereenvolgens oplopende flow (onderste blauwe lijn) resp. afnemende flow (bovenste blauwe lijn).

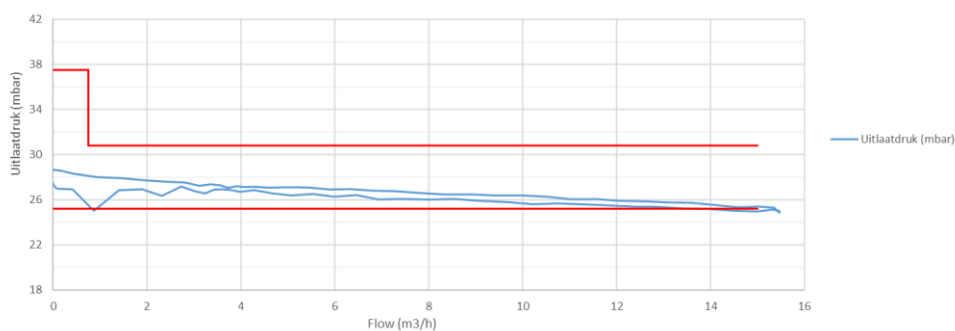
Daar waar regelaars zowel op waterstof als op aardgas zijn getest, is er een aparte kleurenlegenda toegevoegd voor de grenswaarden (blauw voor waterstof; geel voor aardgas).



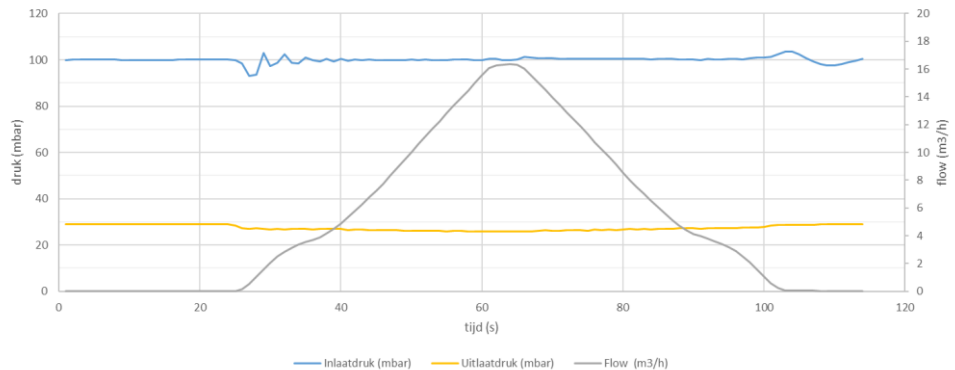
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 2 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



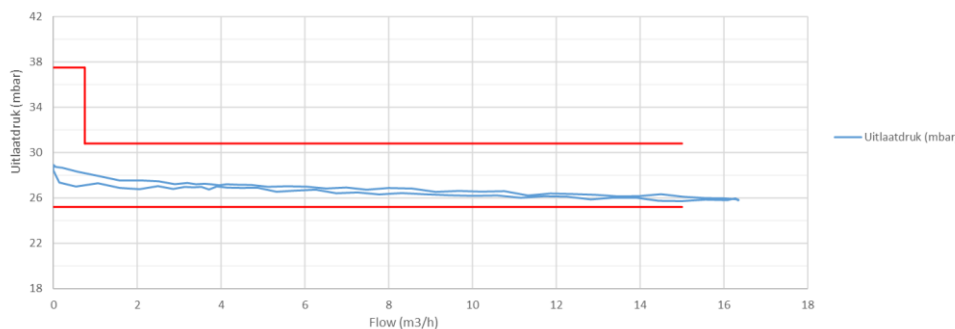
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 2 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar

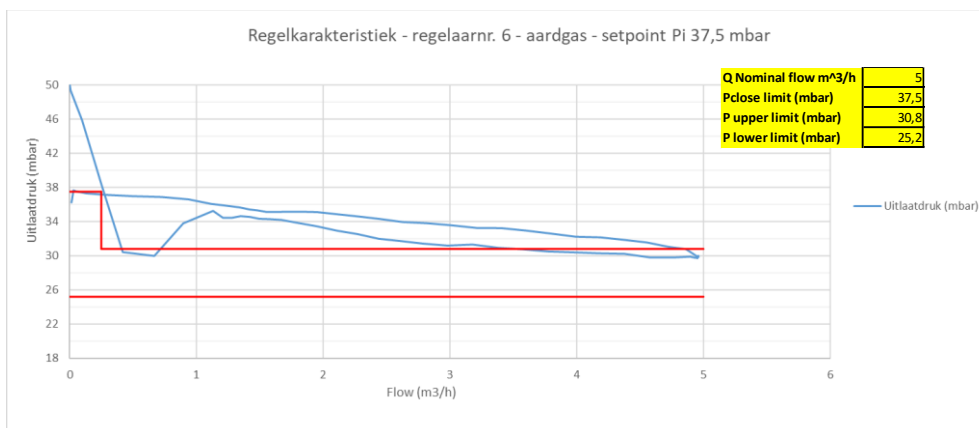
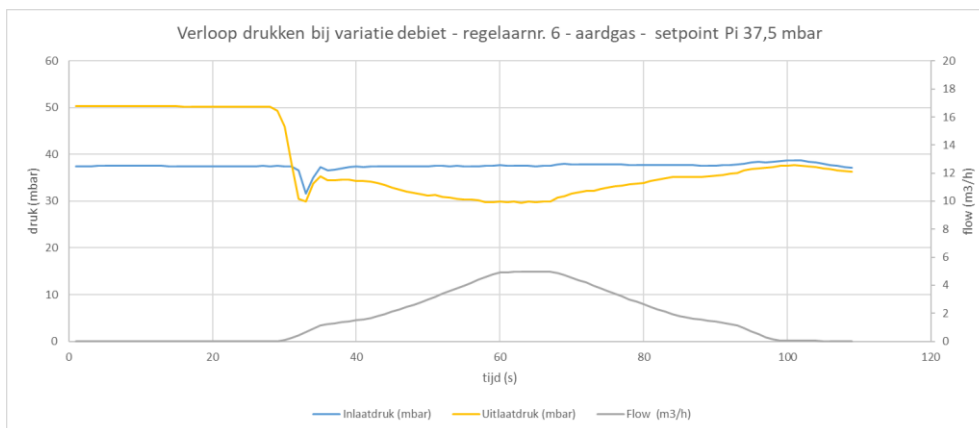
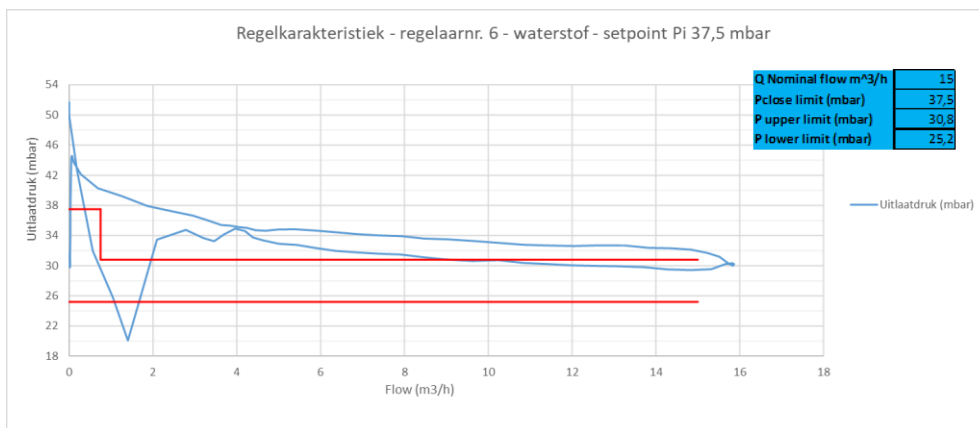
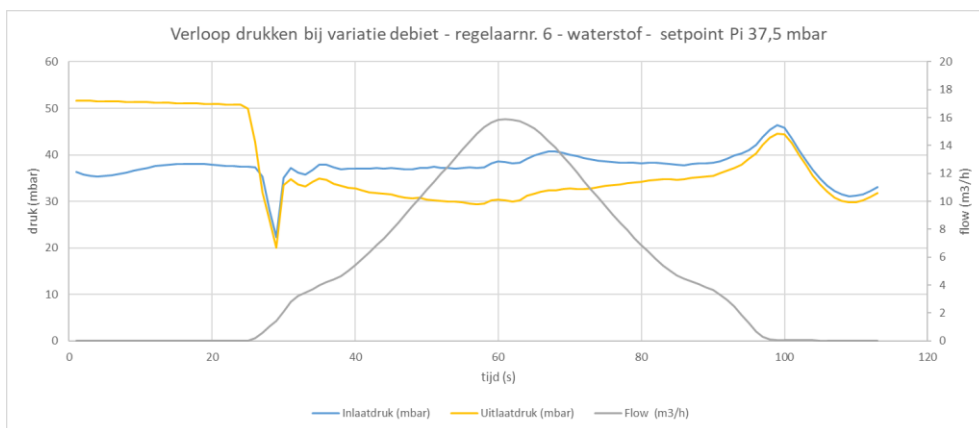


Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 2 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar

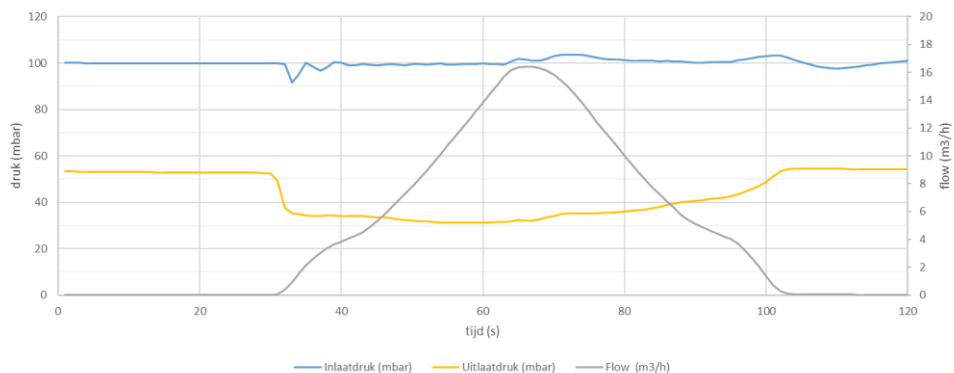


Regelkarakteristiek - regelaarnr. 2 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar

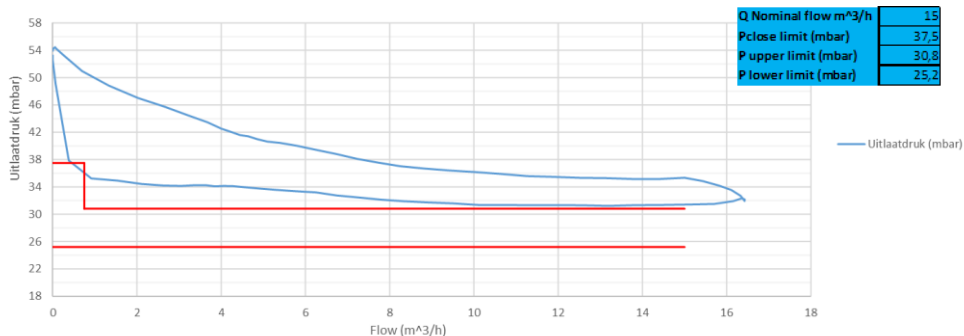




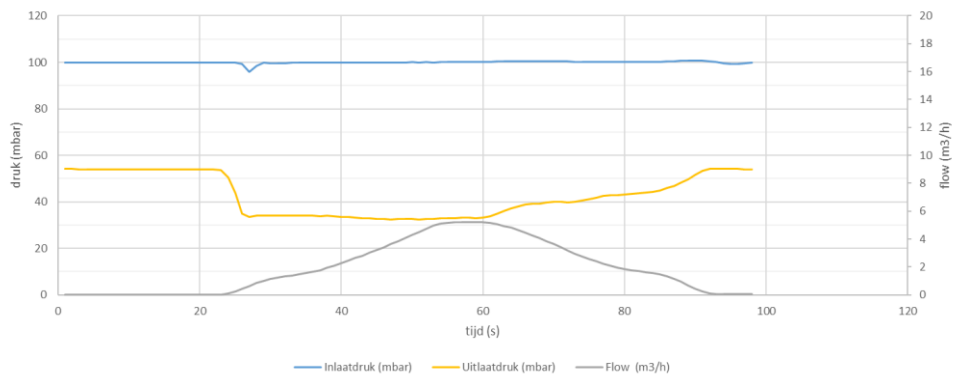
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 6 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



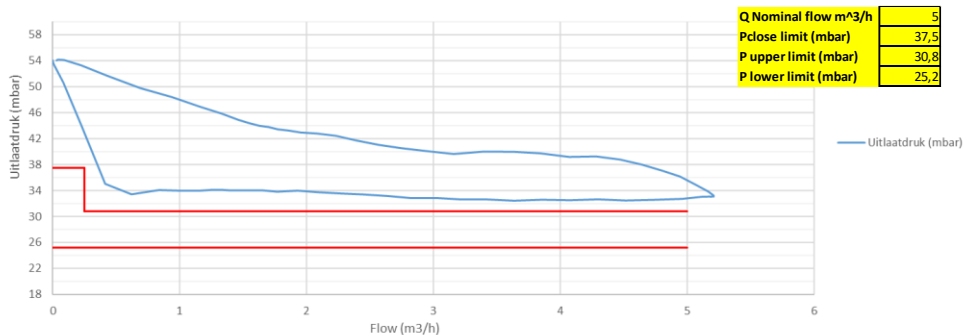
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 6 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



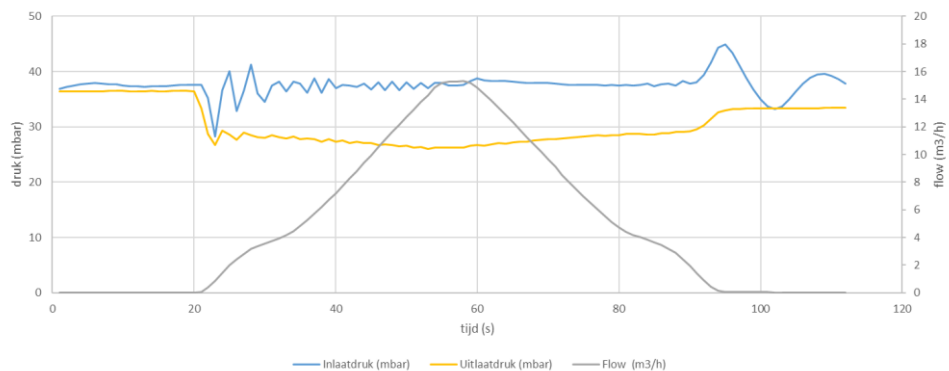
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 6 - aardgas - setpoint Pi 100 mbar



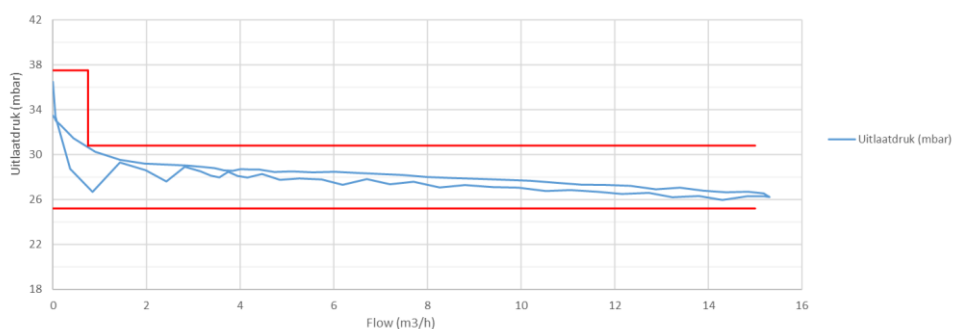
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 6 - aardgas - setpoint Pi 100 mbar



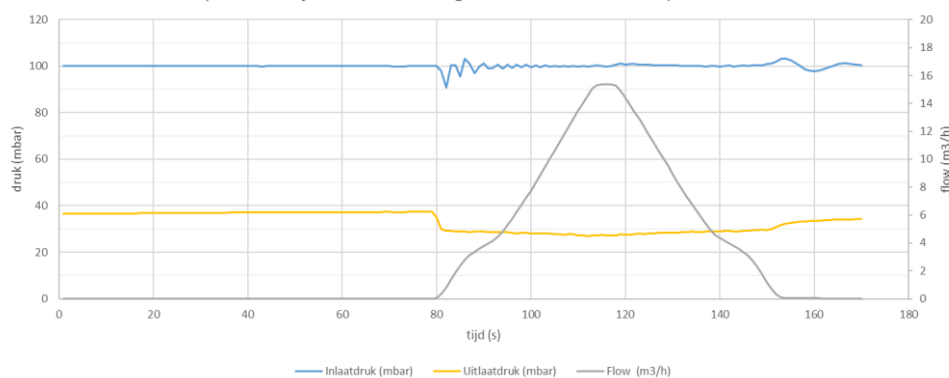
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 7 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



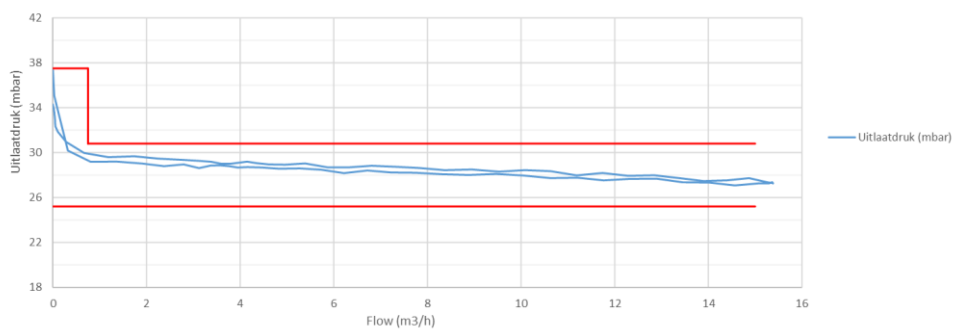
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 7 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



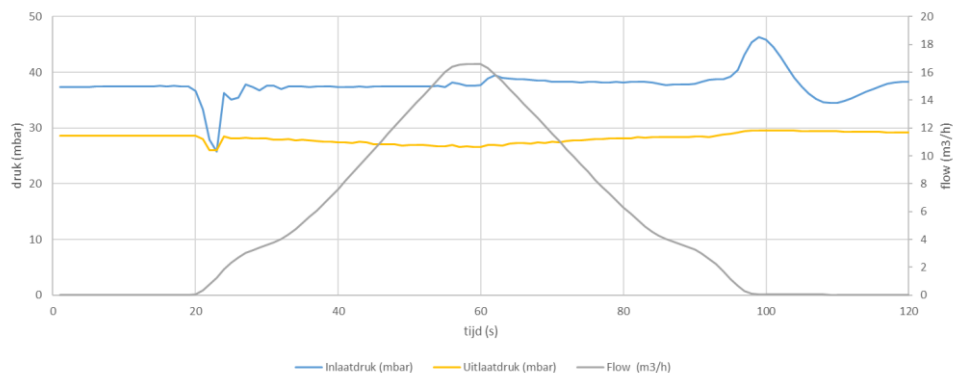
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 7 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



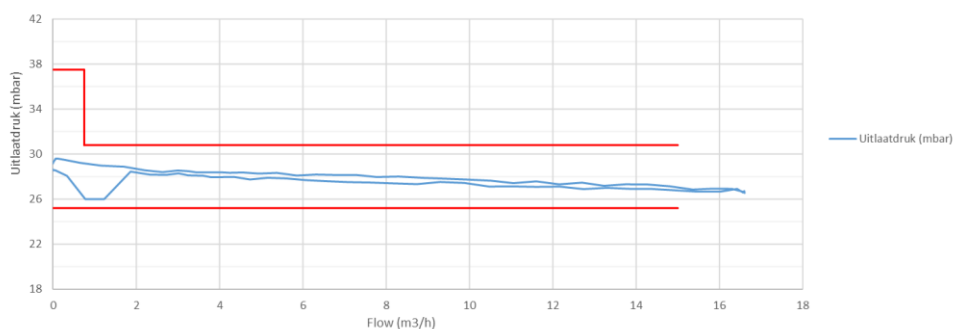
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 7 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



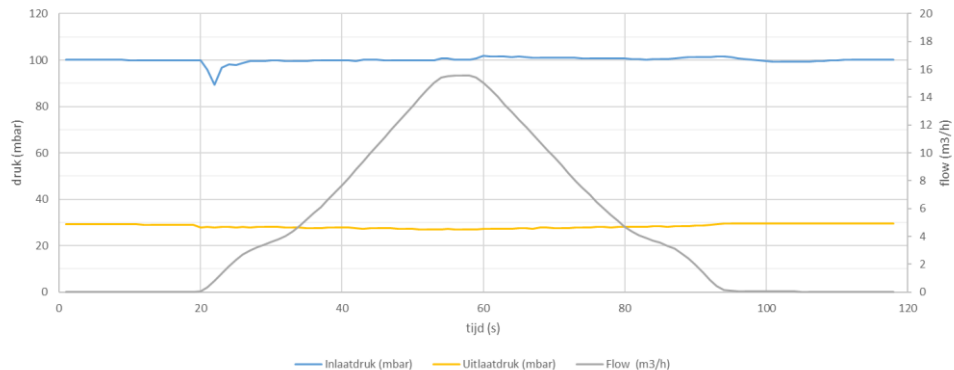
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 8 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



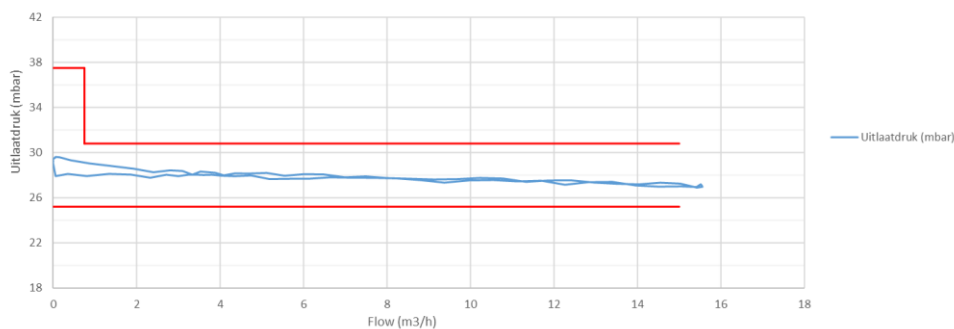
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 8 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 8 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar

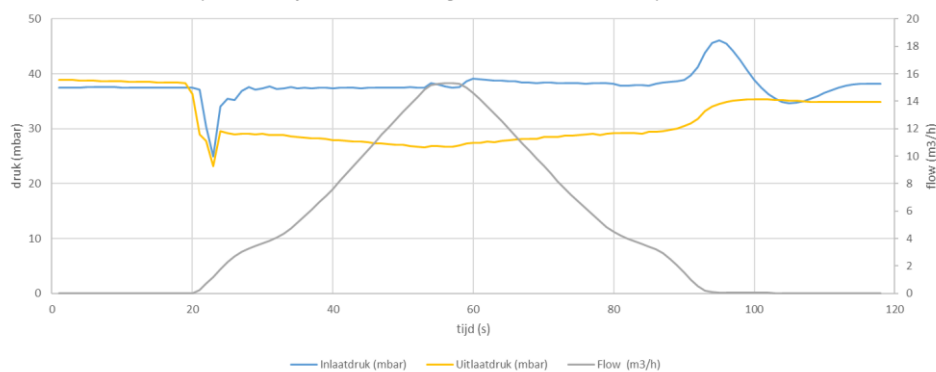


Regelkarakteristiek - regelaarnr. 8 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar

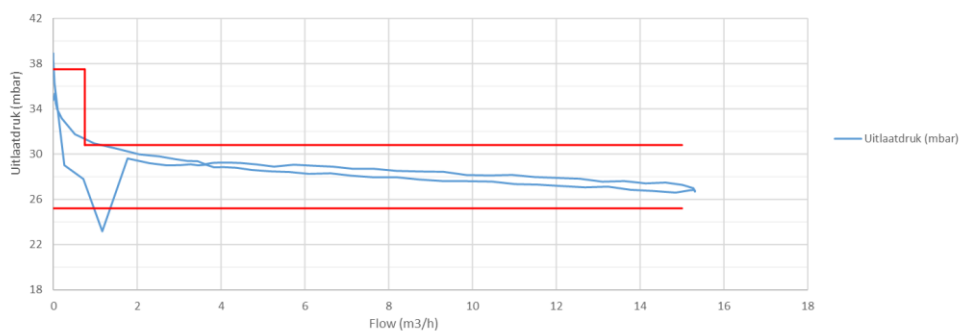




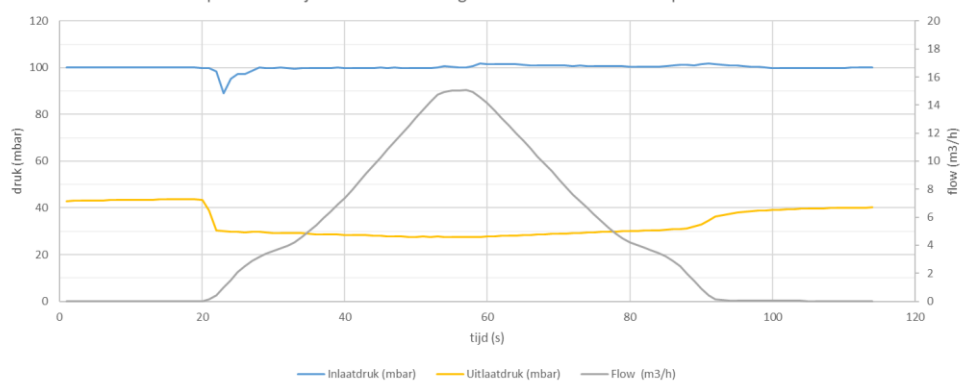
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 9 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



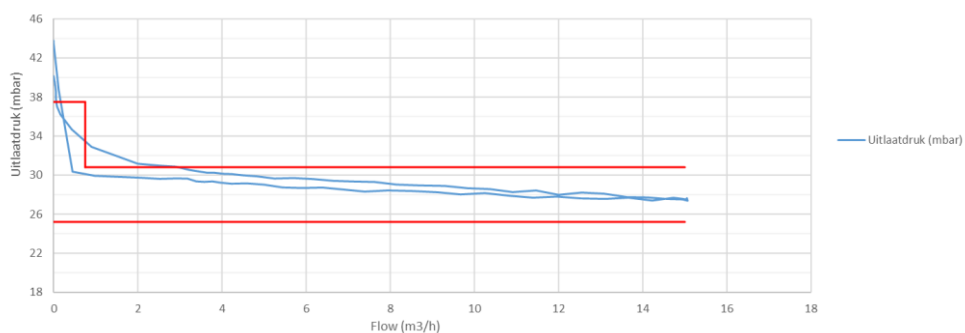
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 9 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



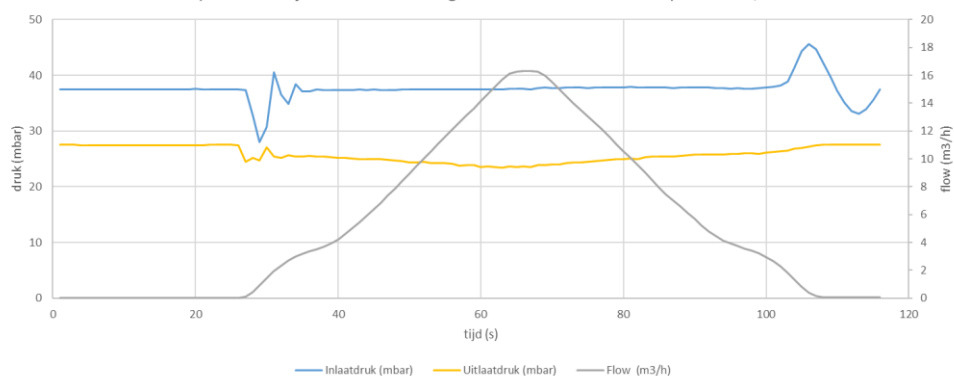
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 9 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



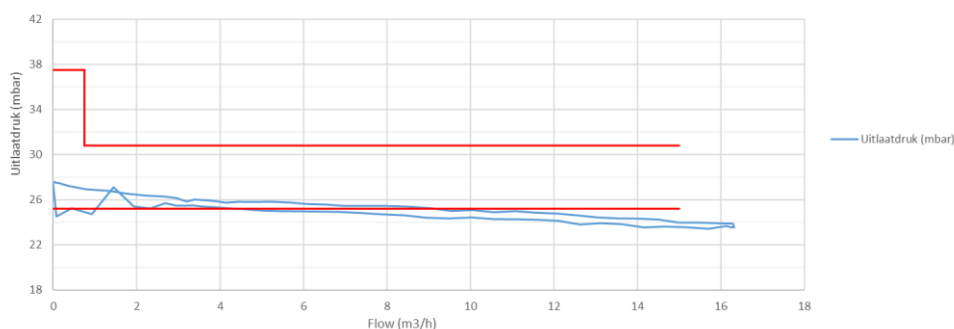
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 9 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



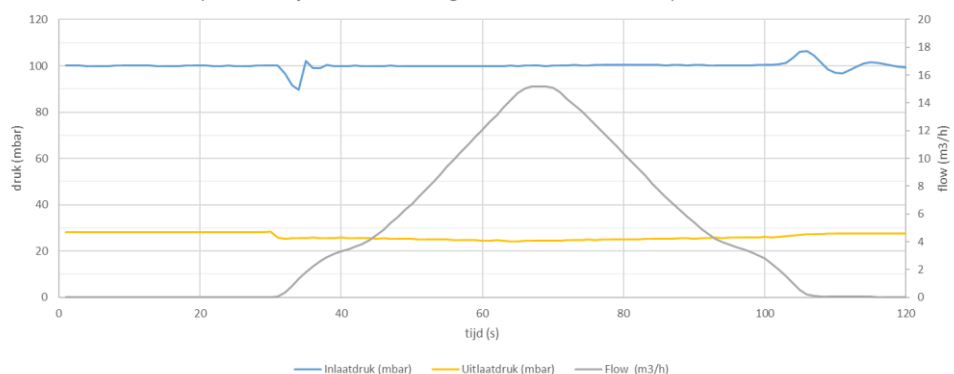
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 10 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



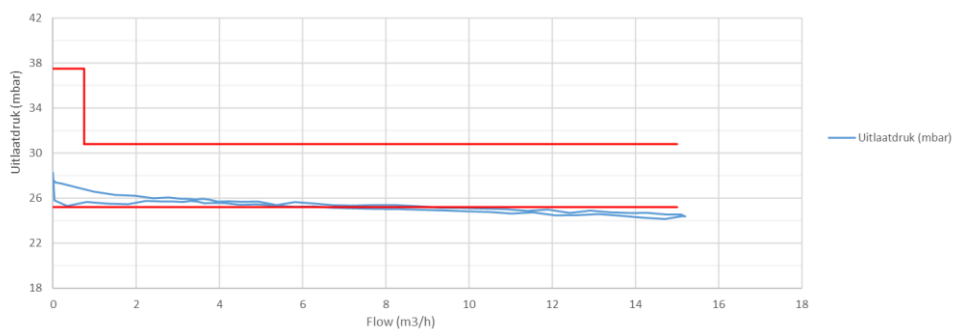
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 10 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



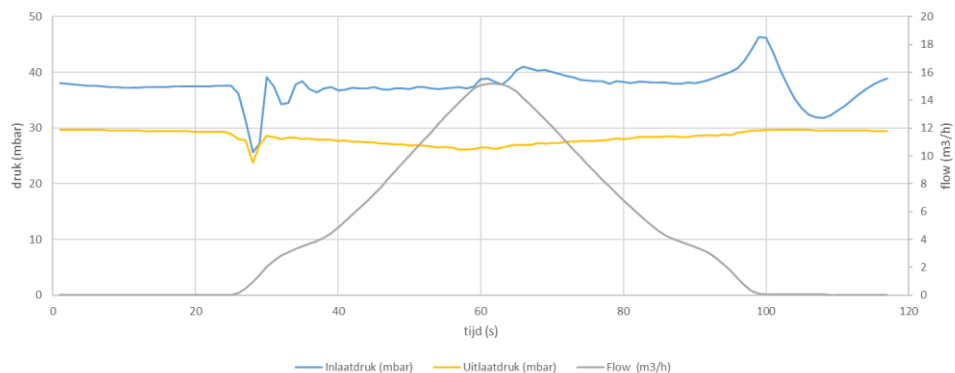
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 10 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



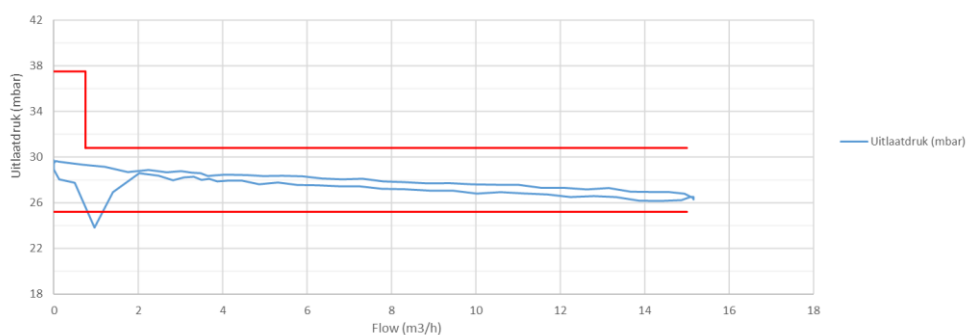
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 10 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



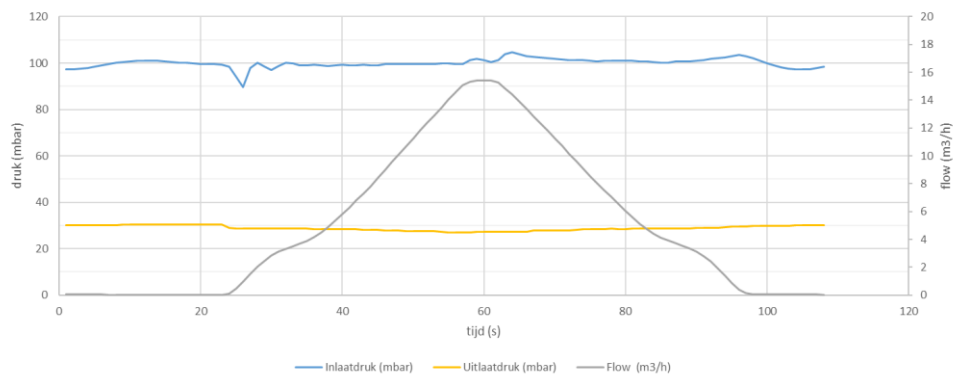
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 11 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



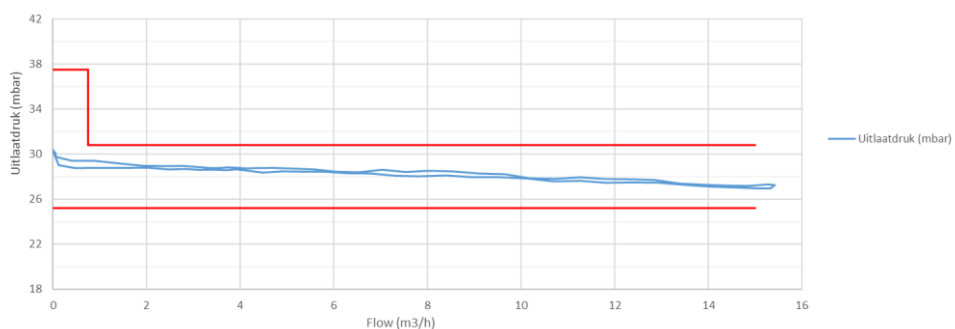
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 11 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



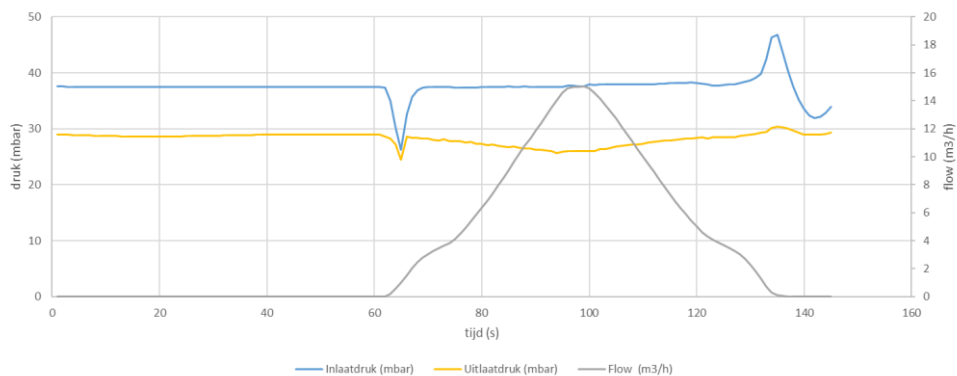
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 11 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



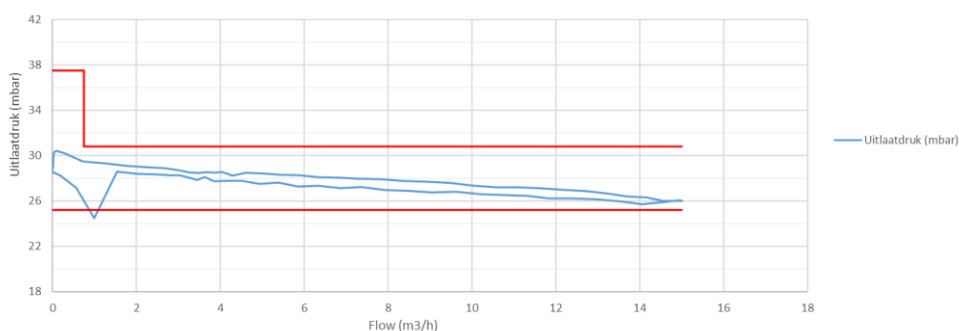
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 11 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



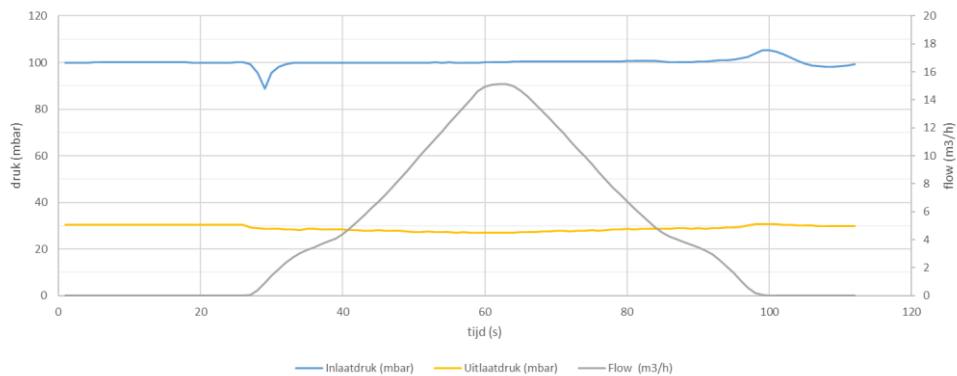
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 12 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



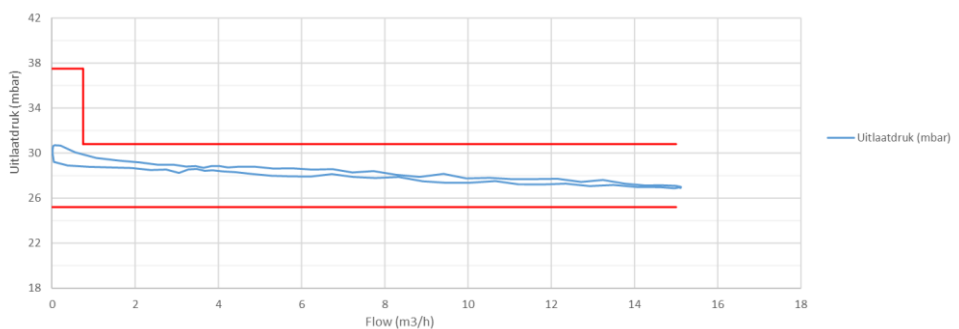
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 12 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



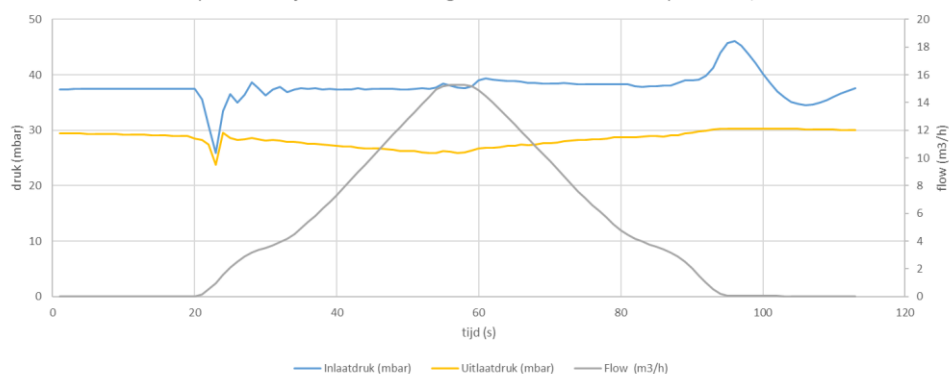
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 12 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



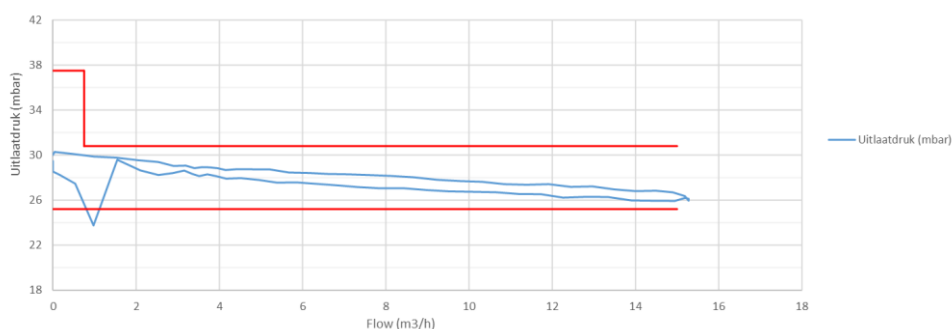
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 12 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



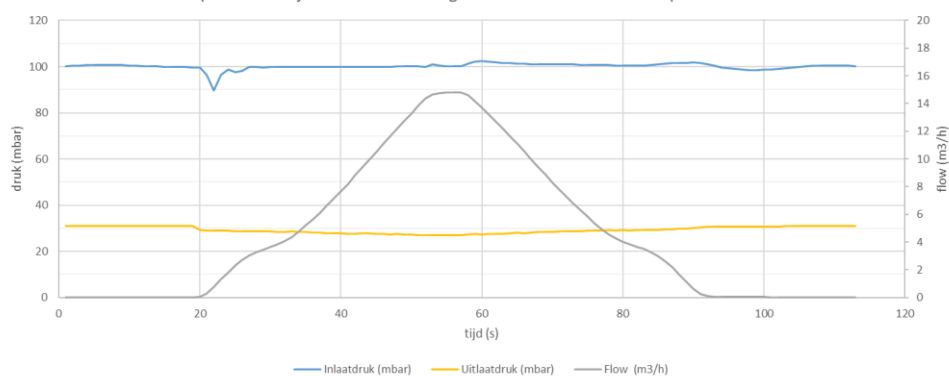
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 13 - waterstof - setpoint  $P_i$  37,5 mbar



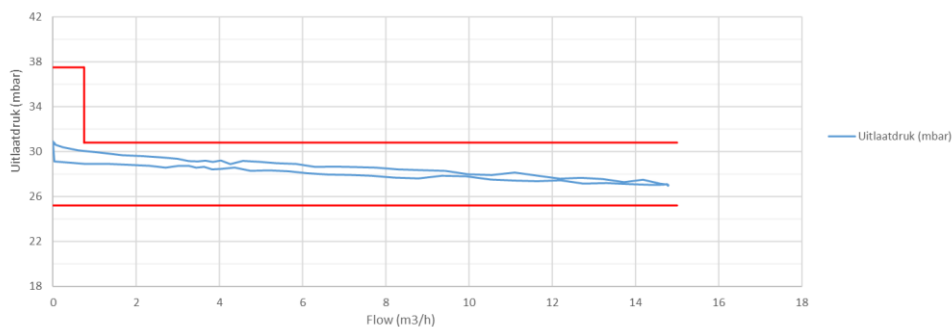
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 13 - waterstof - setpoint  $P_i$  37,5 mbar



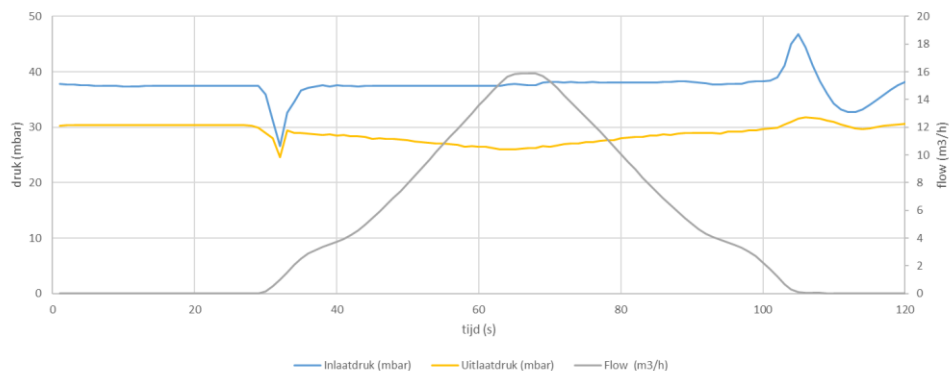
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 13 - waterstof - setpoint  $P_i$  100 mbar



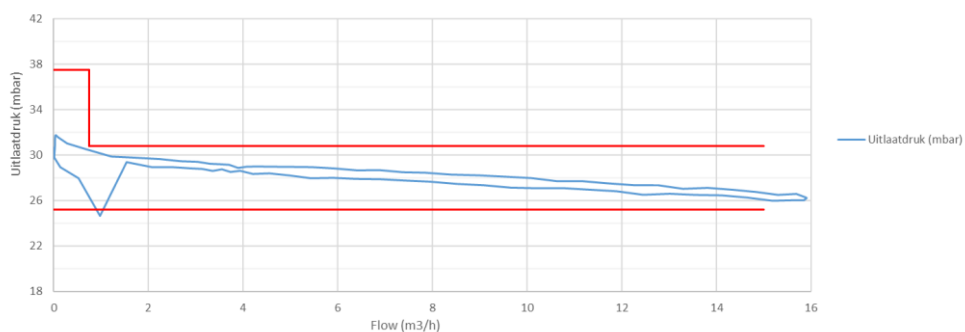
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 13 - waterstof - setpoint  $P_i$  100 mbar



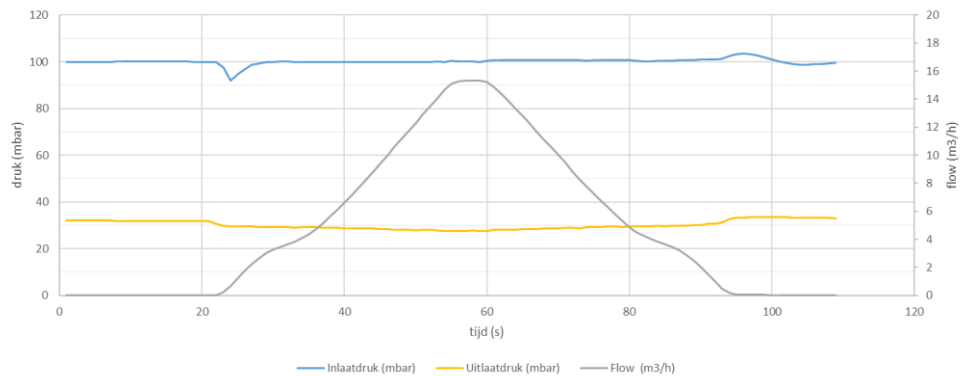
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 14 - waterstof - setpoint  $P_i$  37,5 mbar



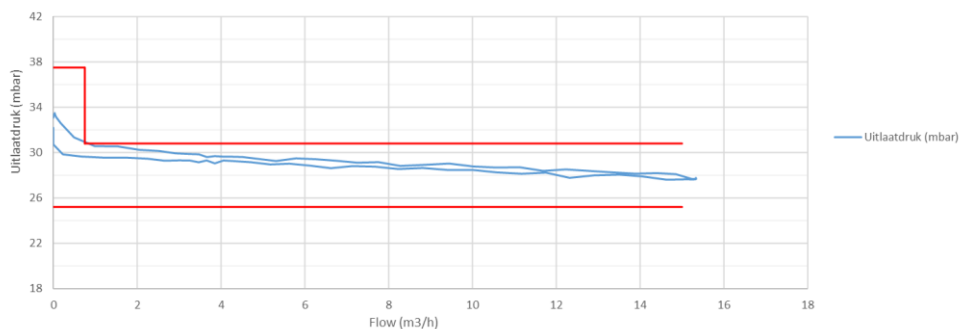
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 14 - waterstof - setpoint  $P_i$  37,5 mbar



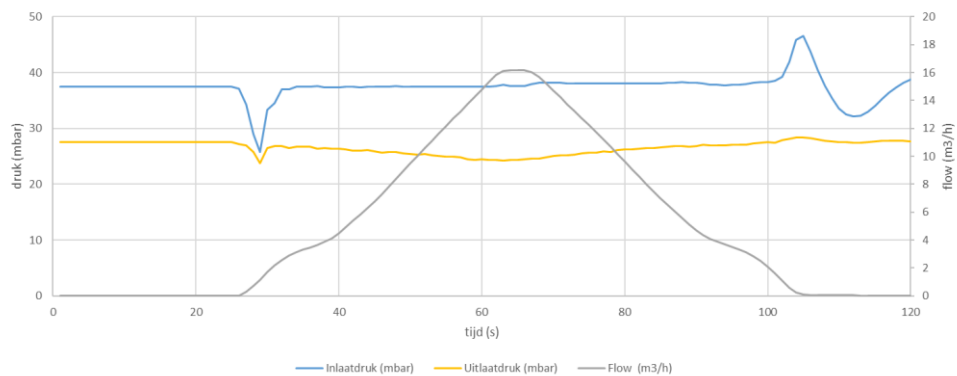
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 14 - waterstof - setpoint  $P_i$  100 mbar



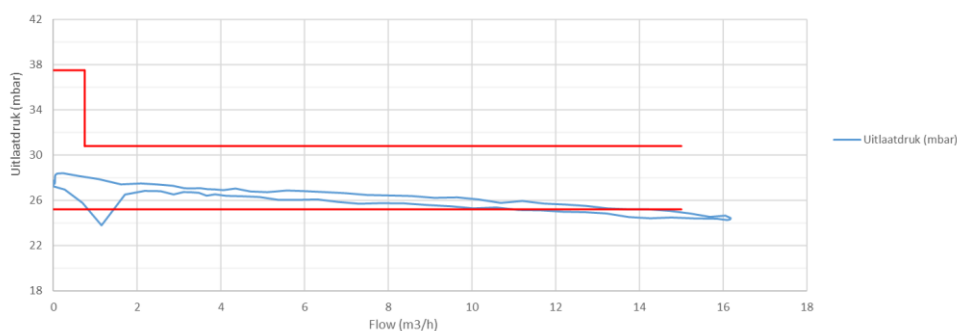
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 14 - waterstof - setpoint  $P_i$  100 mbar



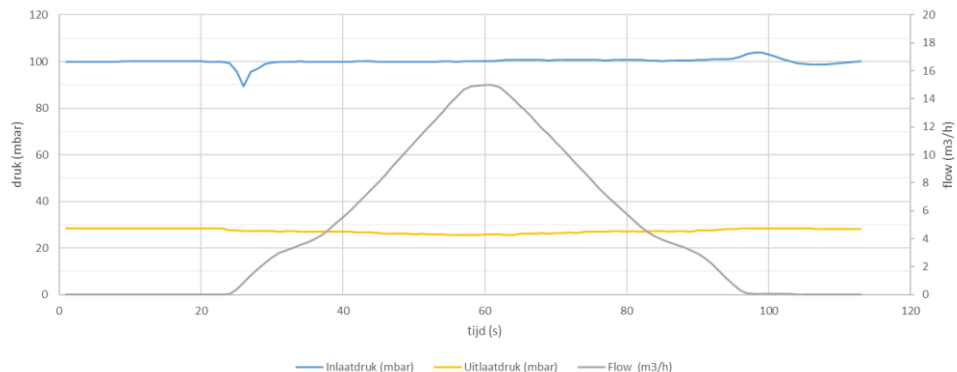
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 16 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



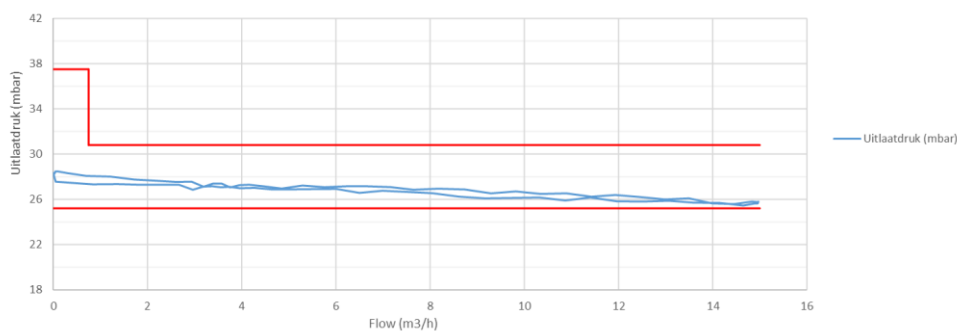
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 16 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



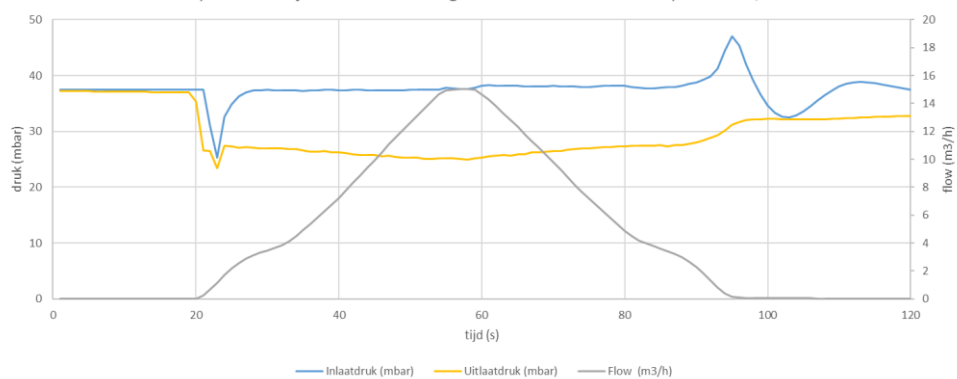
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 16 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



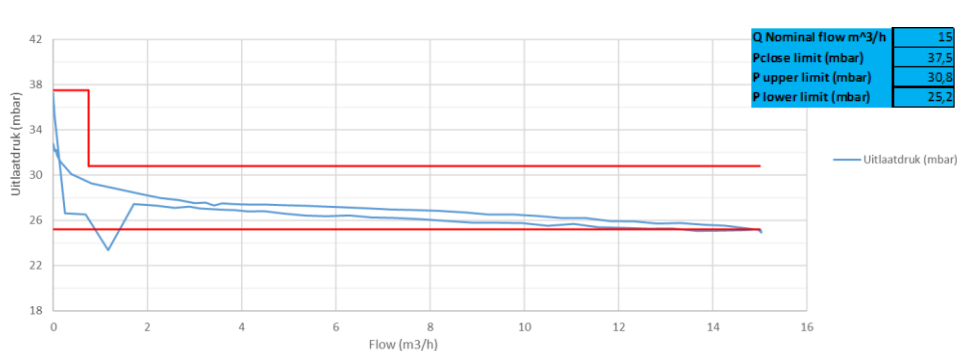
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 16 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



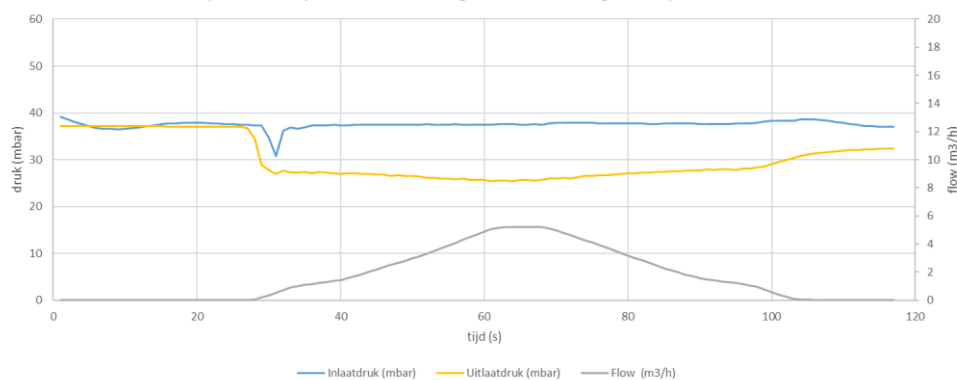
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 18 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



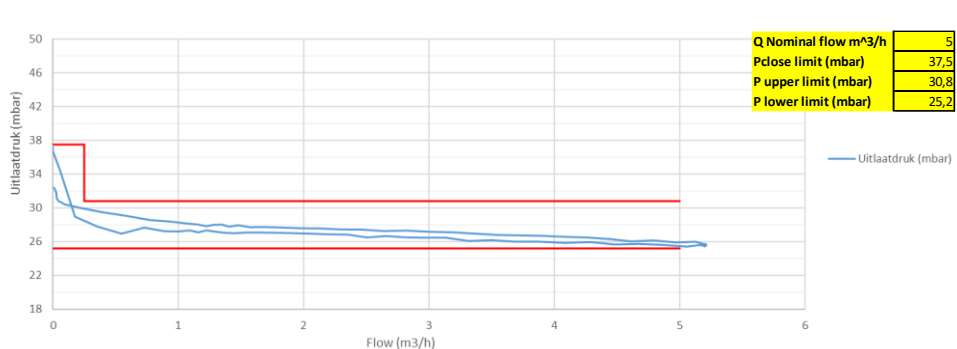
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 18 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 18 - aardgas - setpoint Pi 37,5 mbar

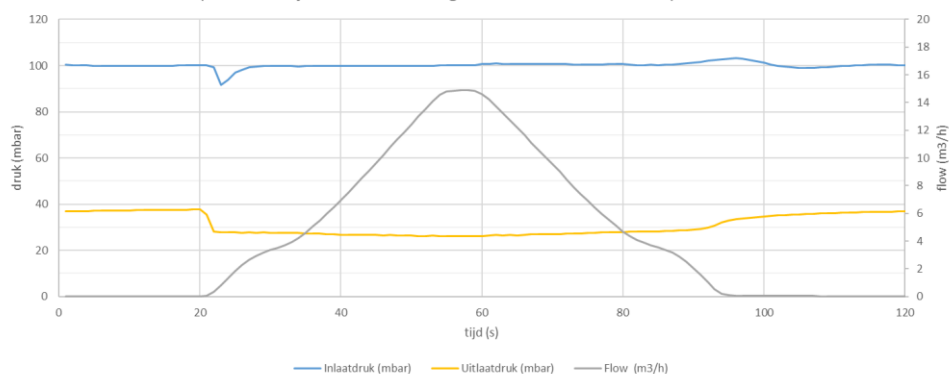


Regelkarakteristiek - regelaarnr. 18 - aardgas - setpoint Pi 37,5 mbar

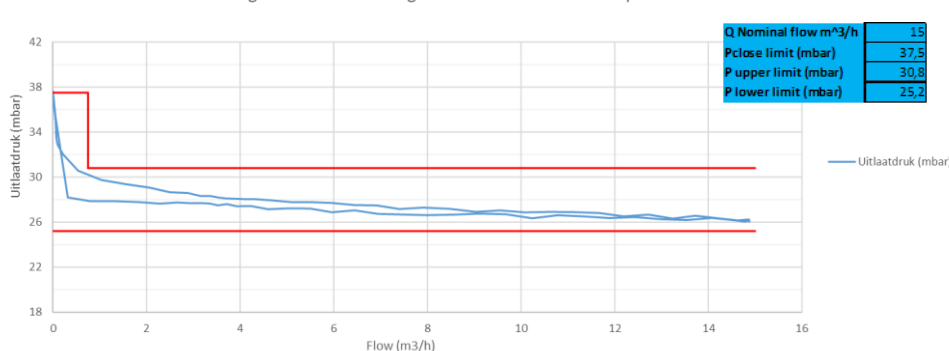




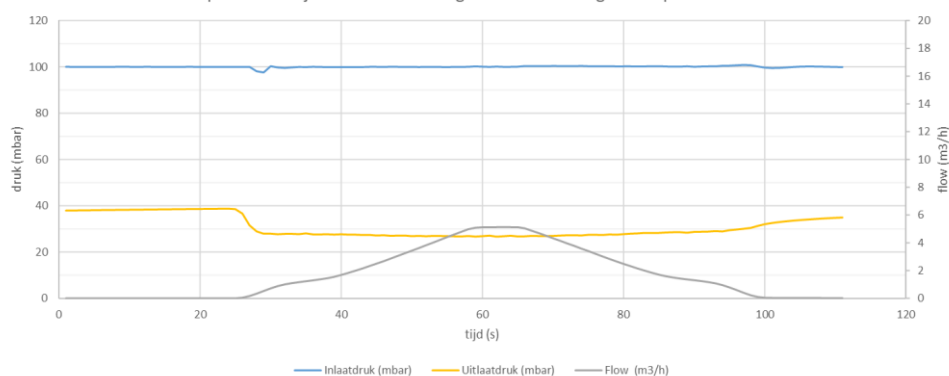
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 18 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



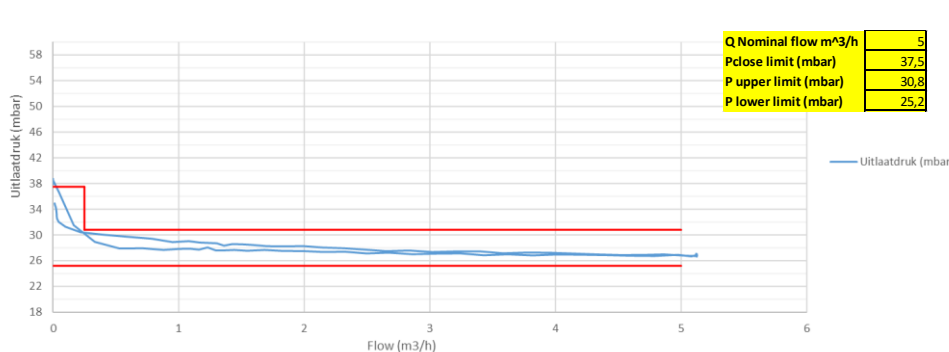
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 18 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



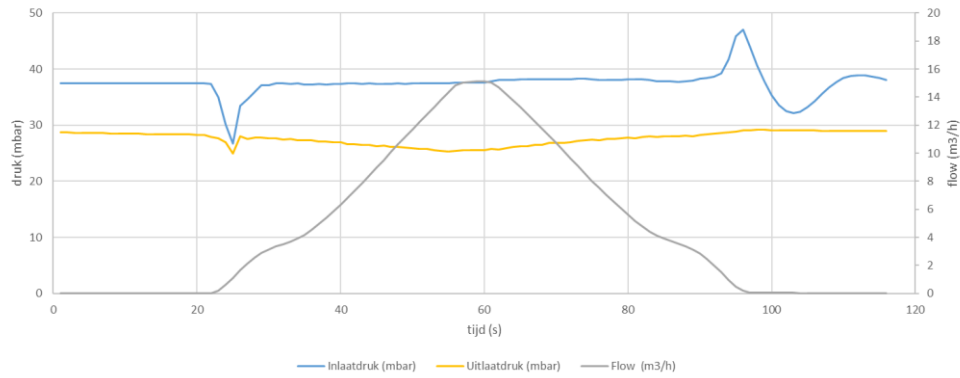
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 18 - aardgas - setpoint Pi 100 mbar



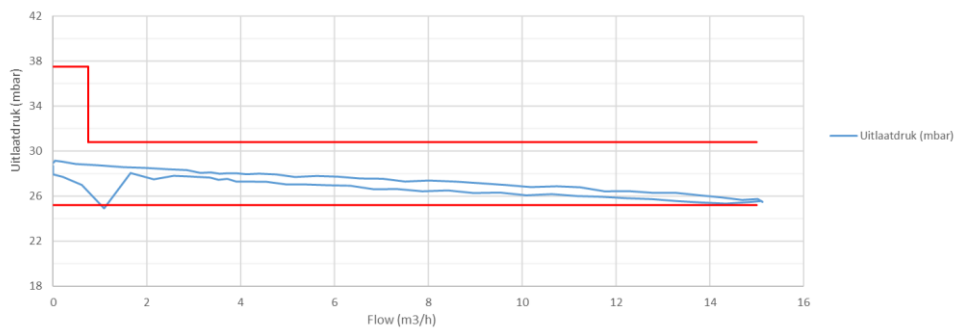
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 18 - aardgas - setpoint Pi 100 mbar



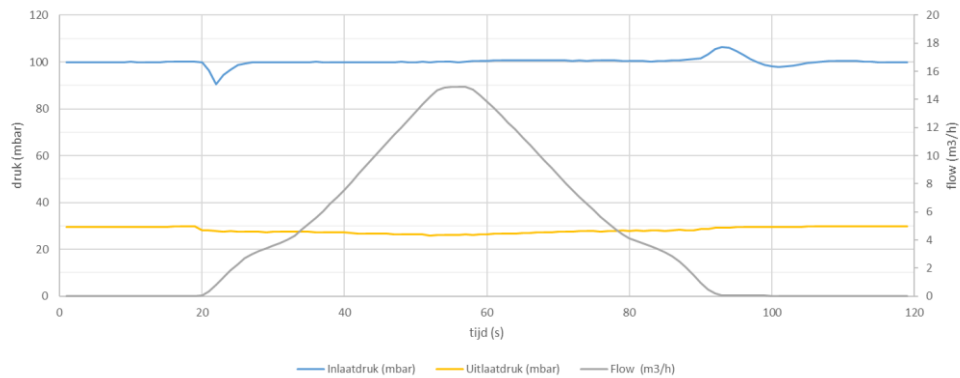
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 19 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



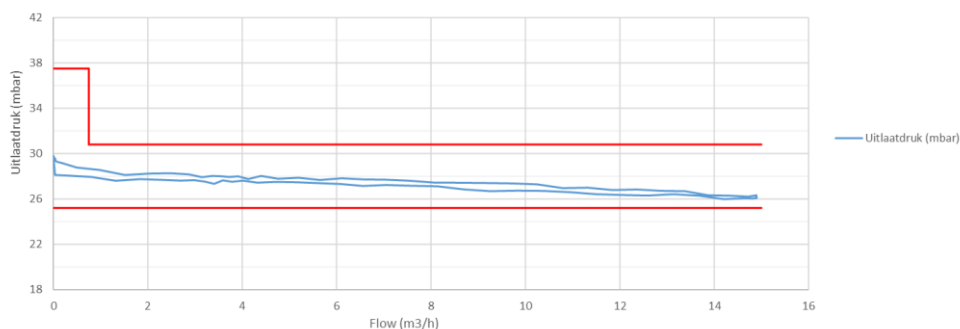
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 19 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



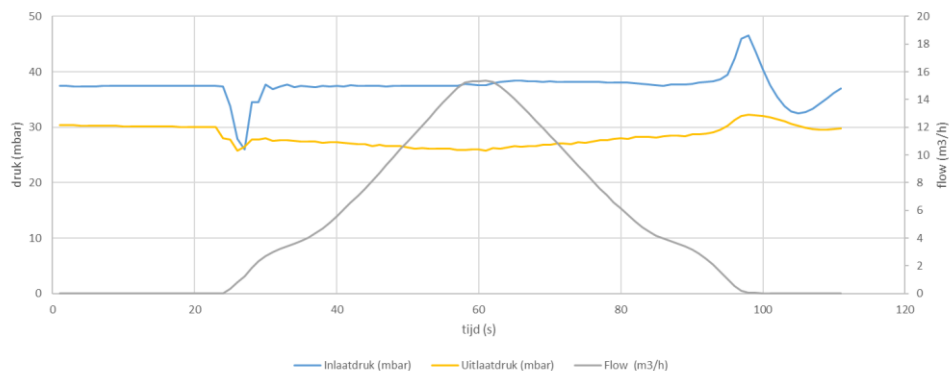
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 19 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



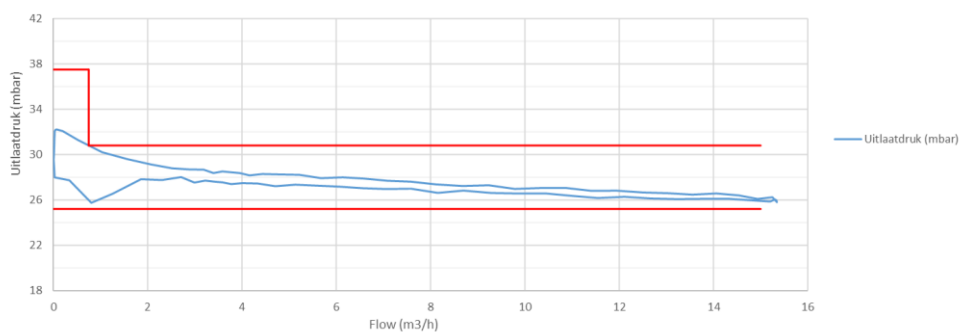
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 19 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



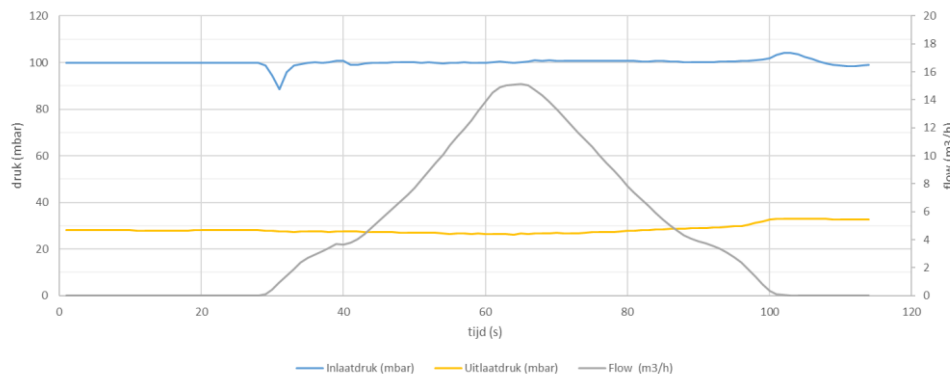
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 21 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



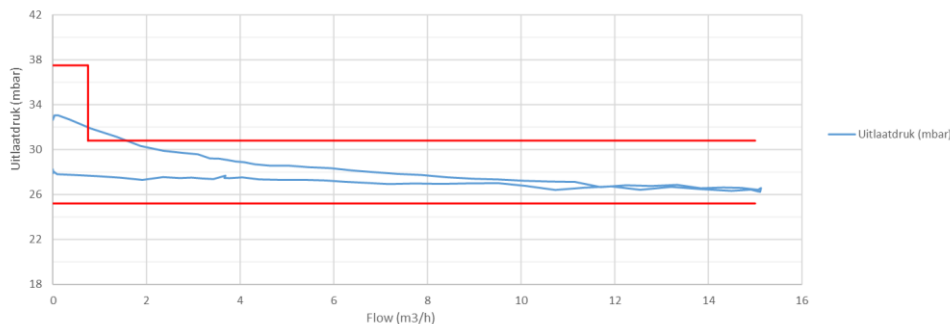
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 21 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



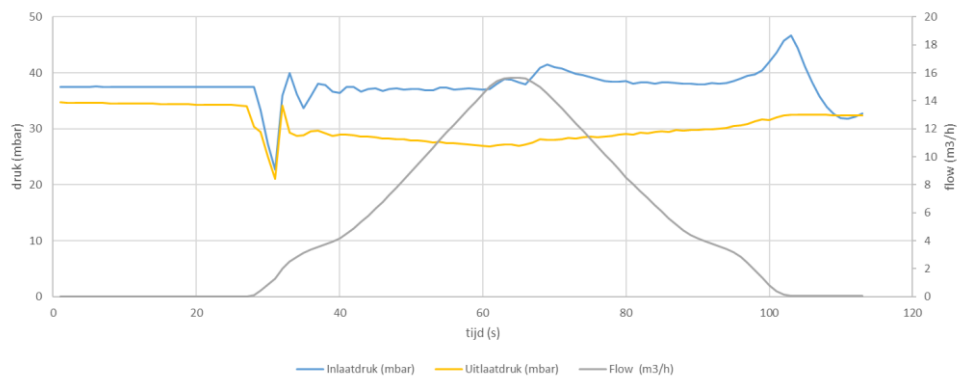
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 21 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



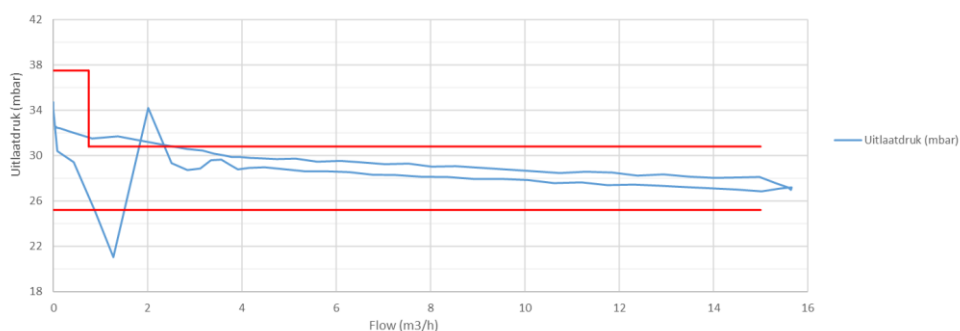
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 21 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



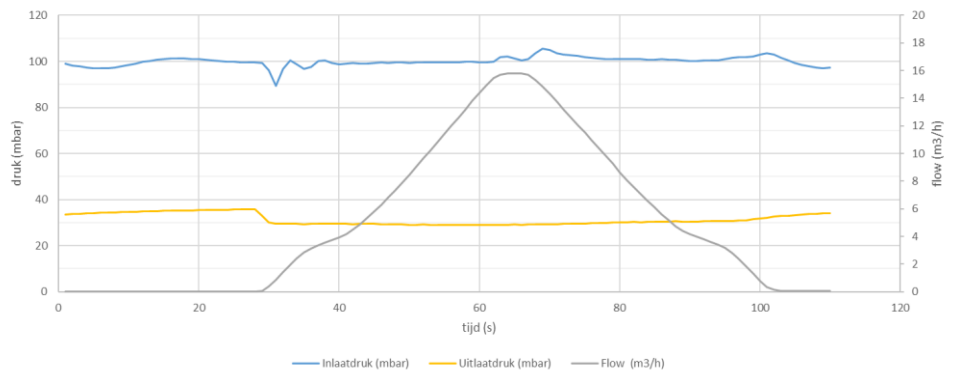
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 22 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



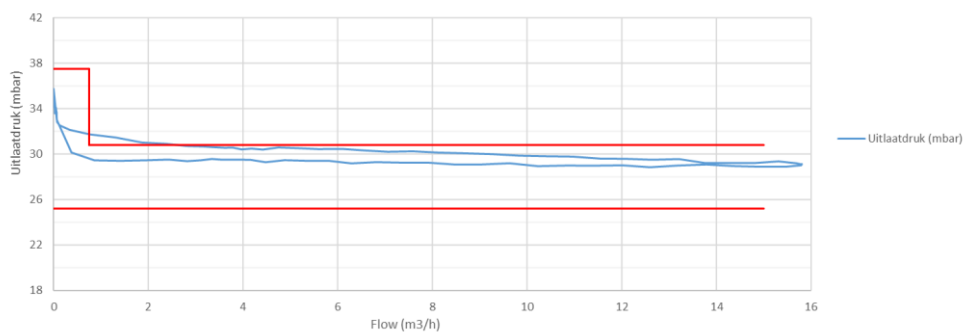
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 22 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



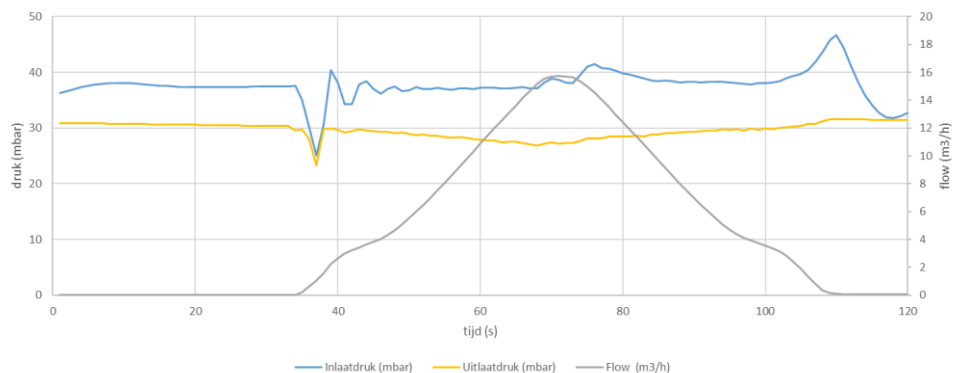
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 22 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



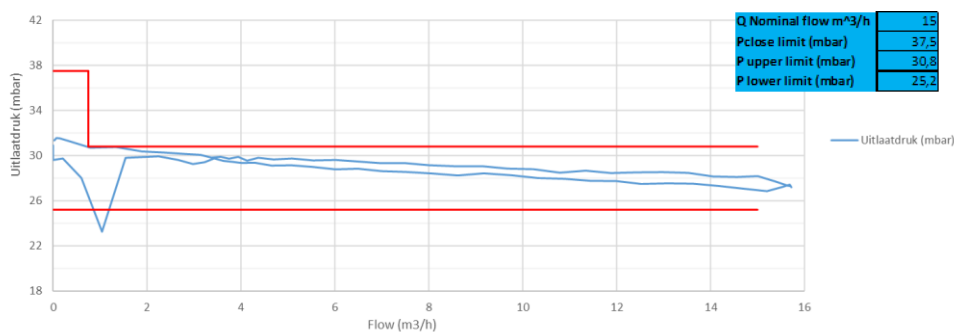
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 22 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



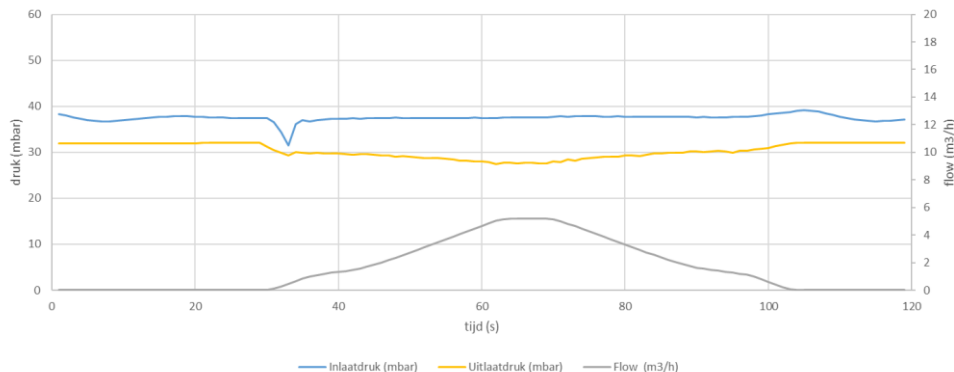
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 23 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



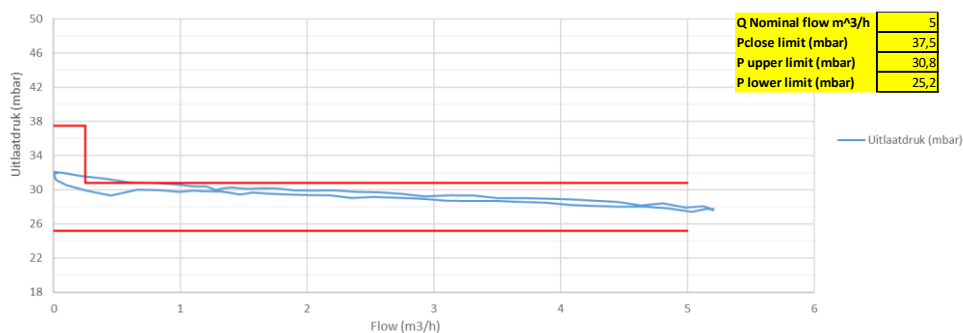
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 23 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



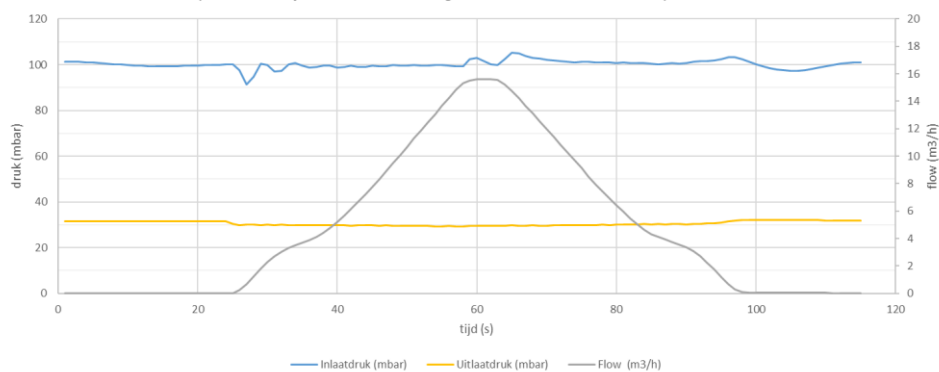
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 23 - aardgas - setpoint Pi 37,5 mbar



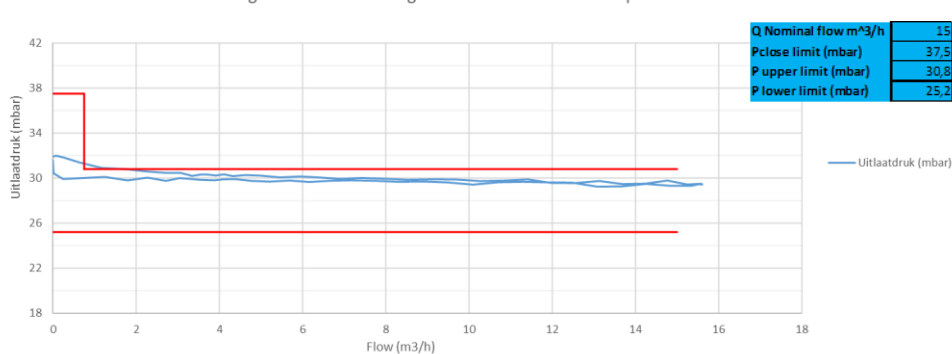
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 23 - aardgas - setpoint Pi 37,5 mbar



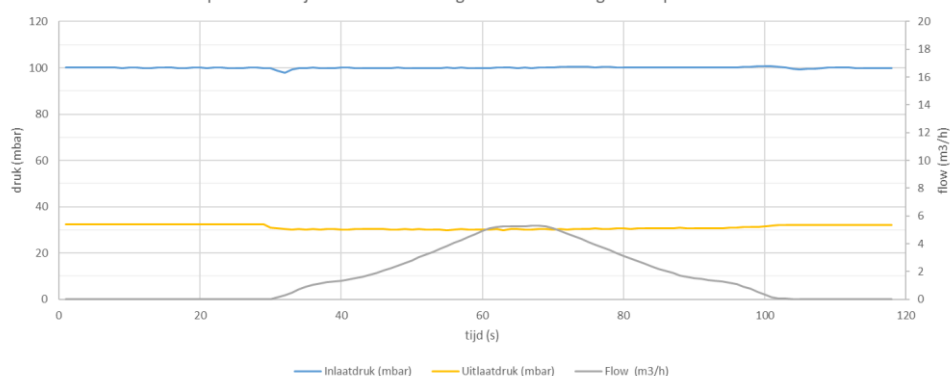
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 23 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



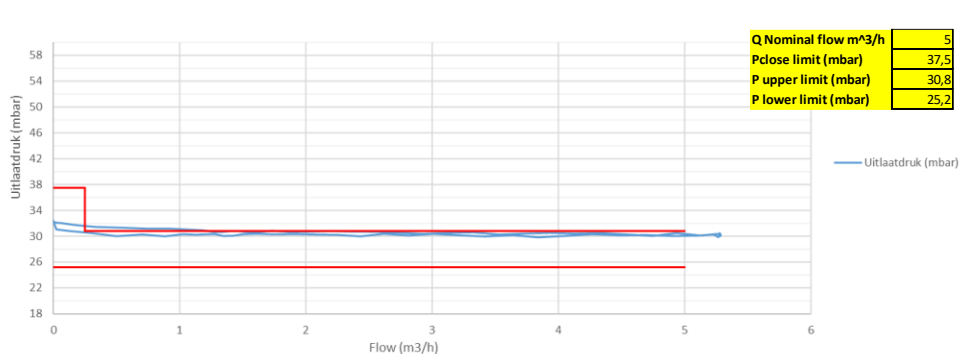
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 23 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



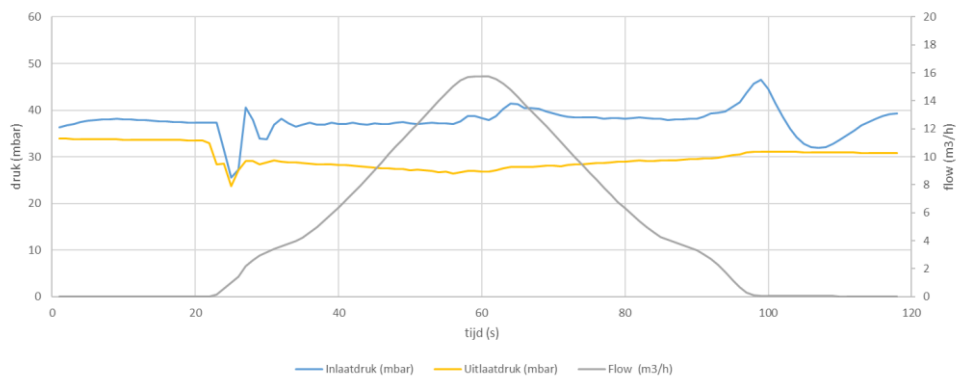
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 23 - aardgas - setpoint Pi 100 mbar



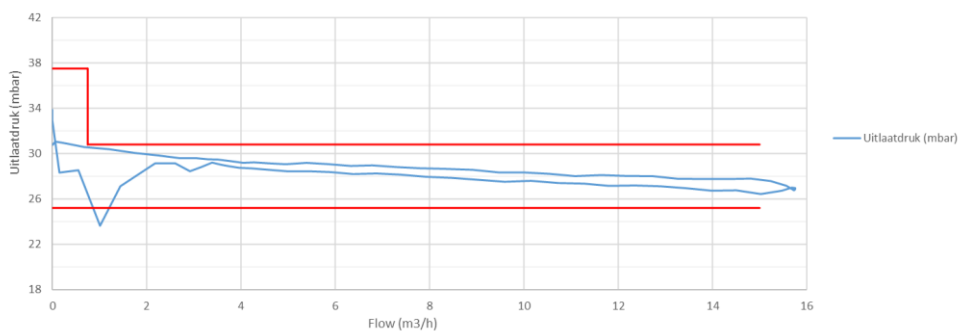
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 23 - aardgas - setpoint Pi 100 mbar



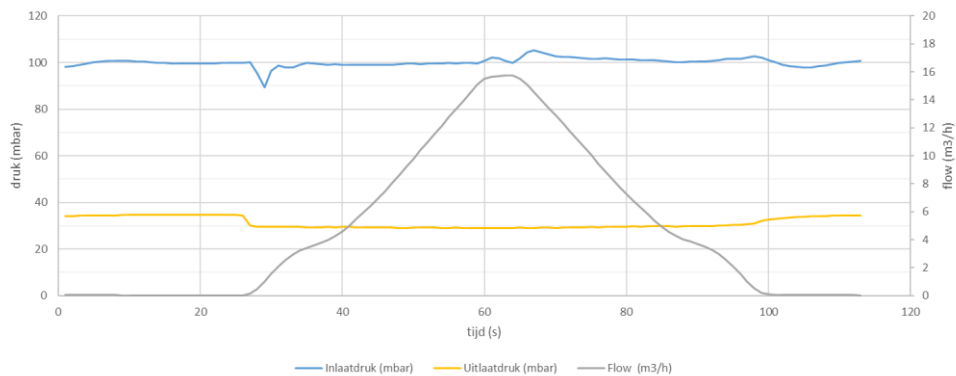
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 24 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



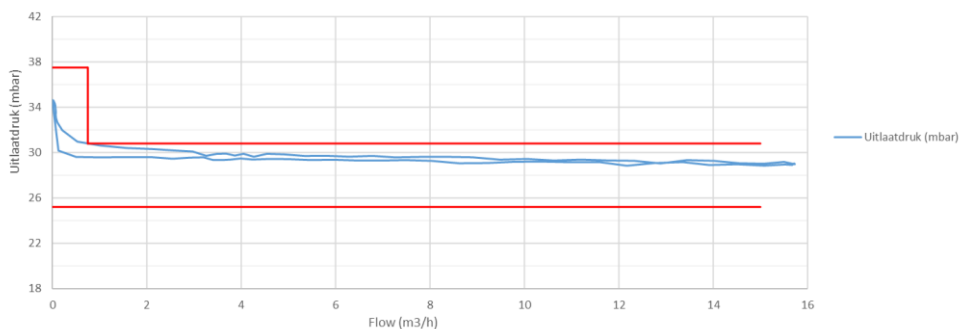
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 24 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



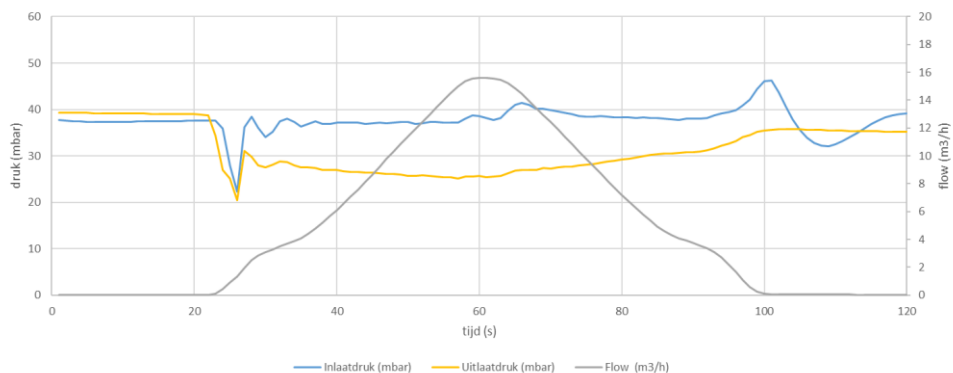
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 24 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



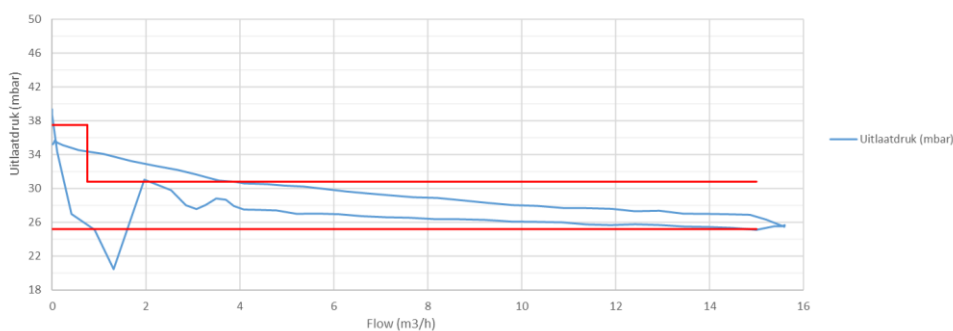
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 24 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



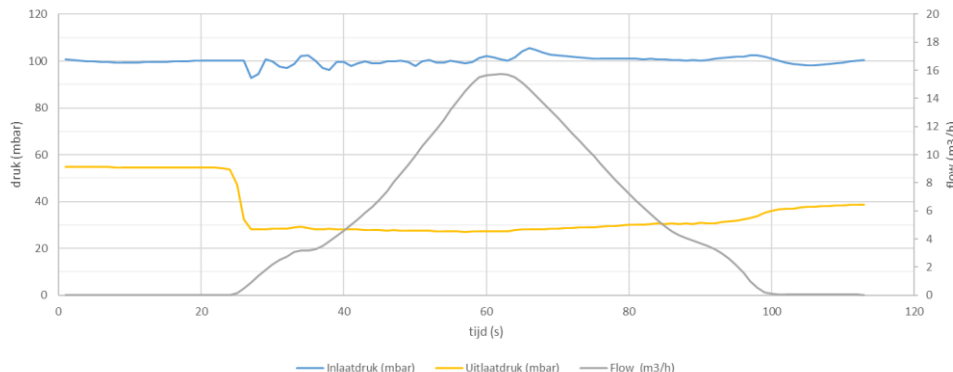
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 25 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



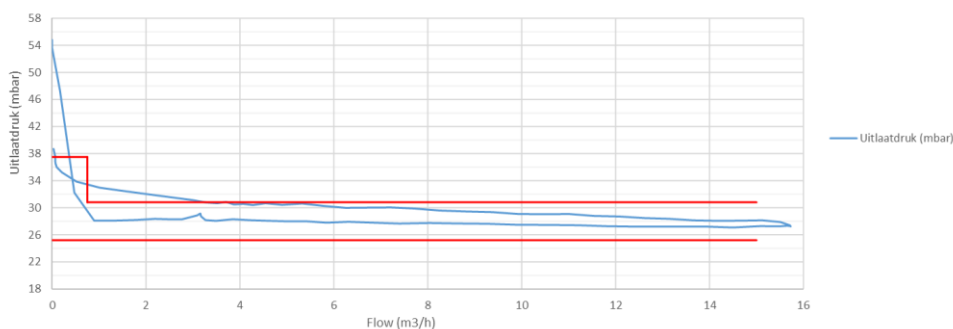
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 25 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 25 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar

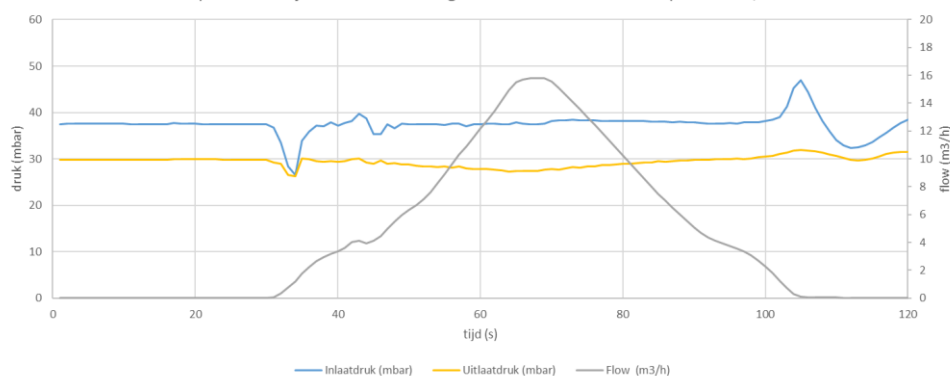


Regelkarakteristiek - regelaarnr. 25 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar

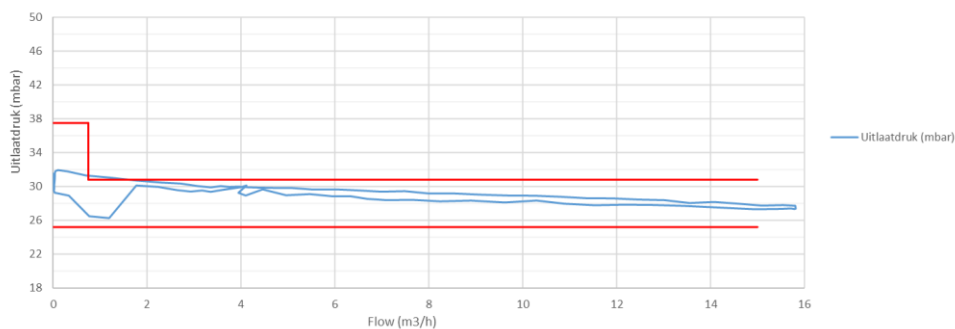




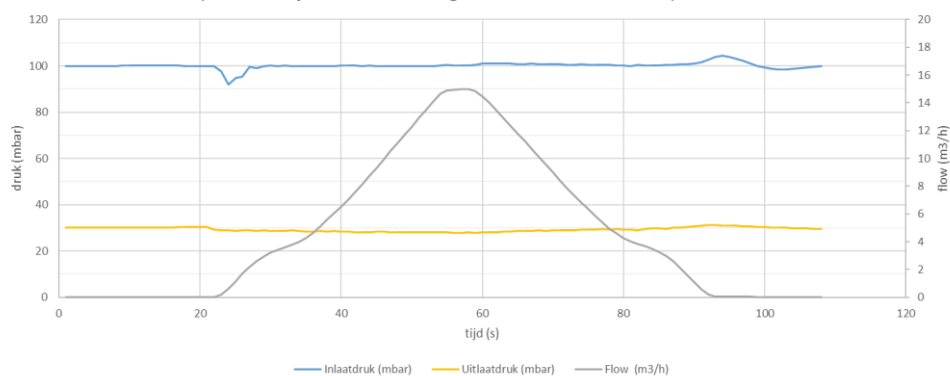
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 26 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



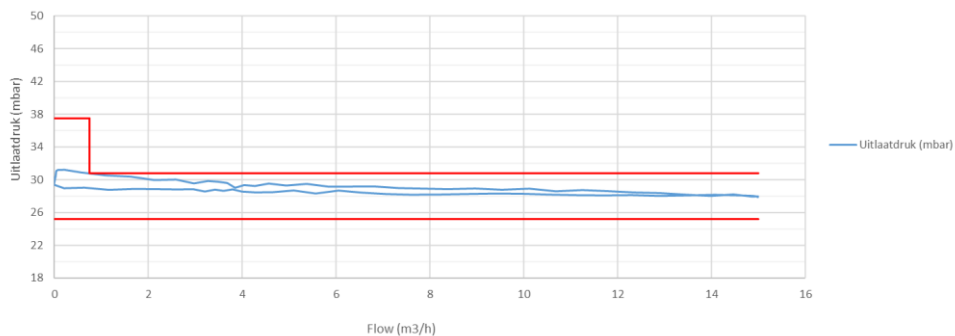
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 26 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



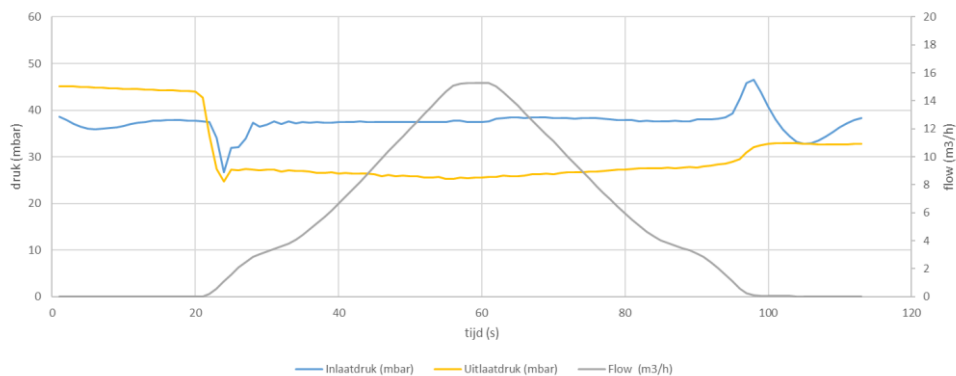
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 26 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



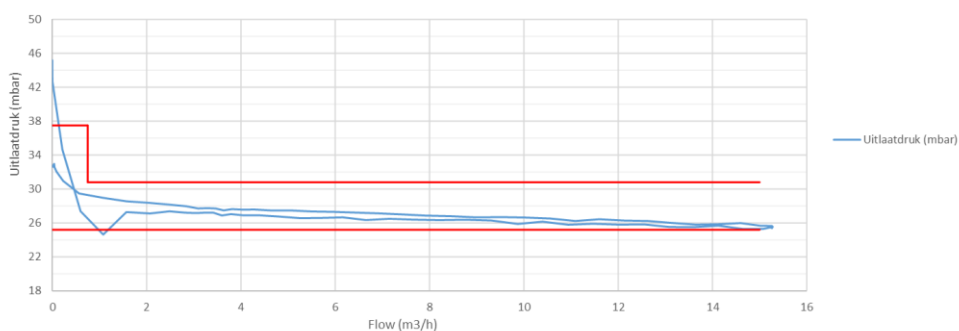
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 26 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



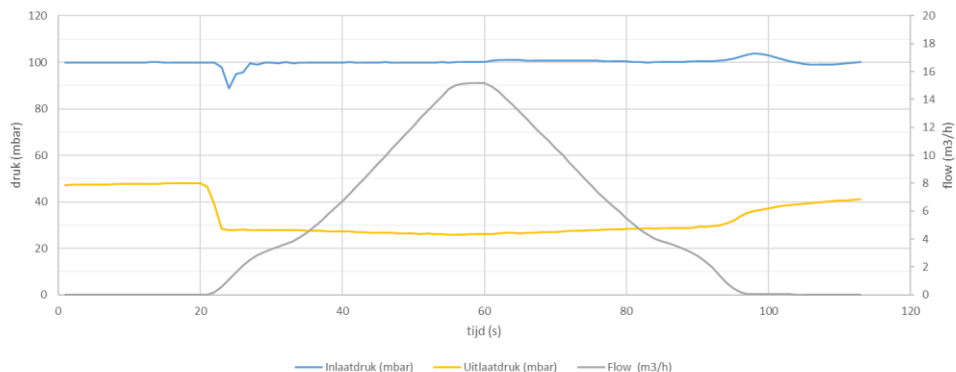
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 28 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



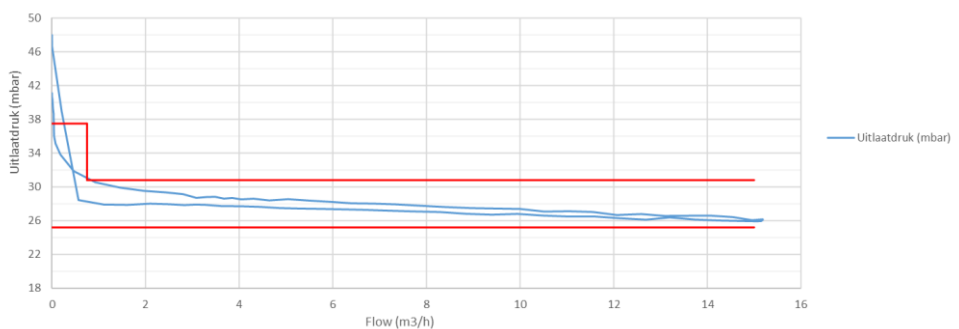
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 28 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



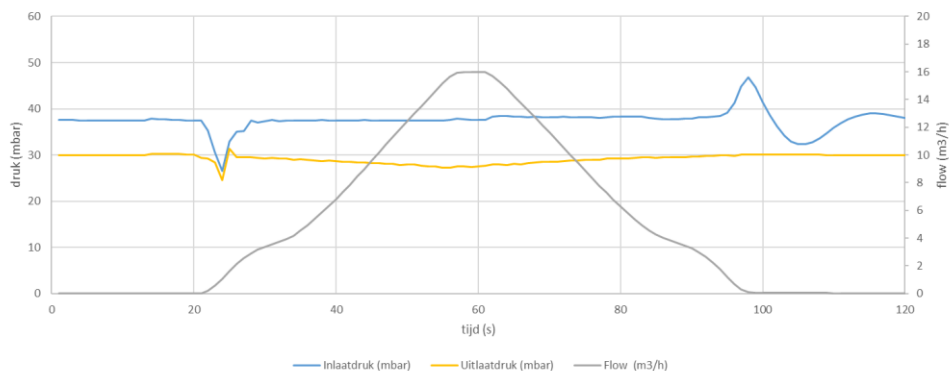
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 28 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



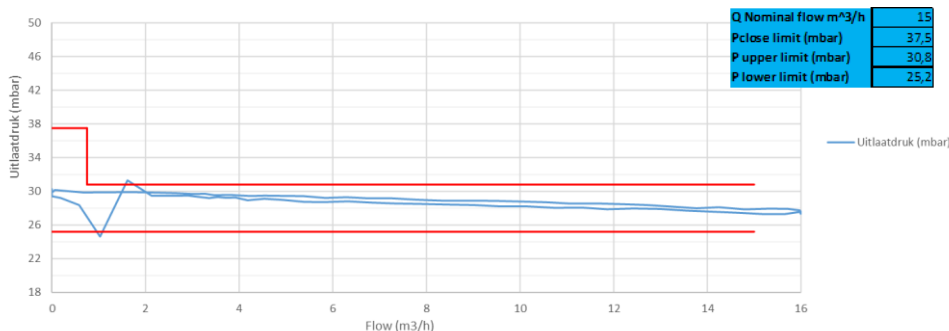
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 28 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



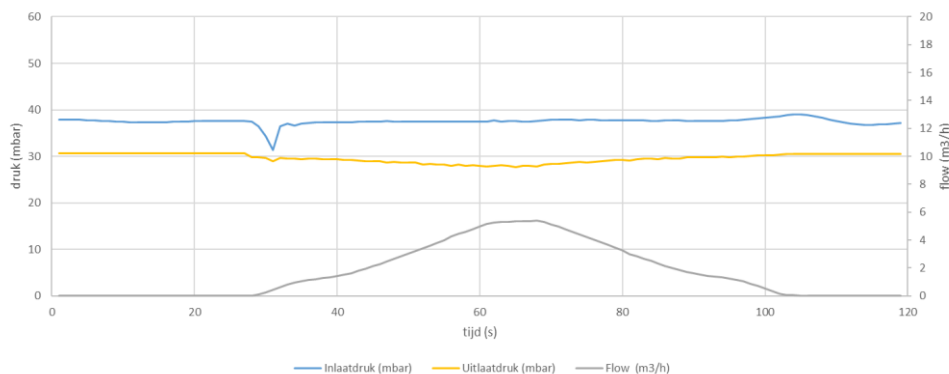
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 31 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



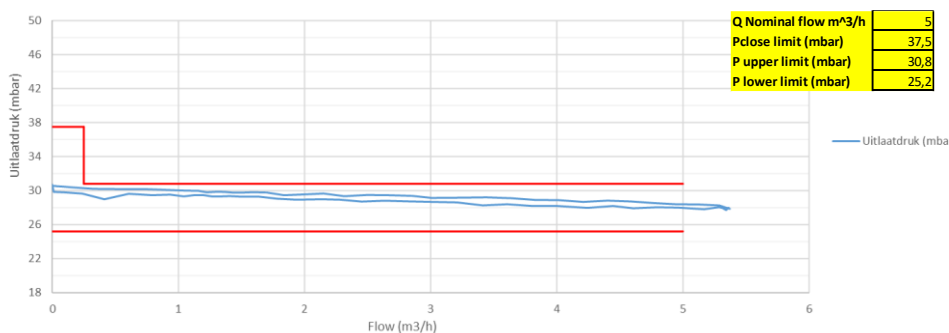
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 31 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



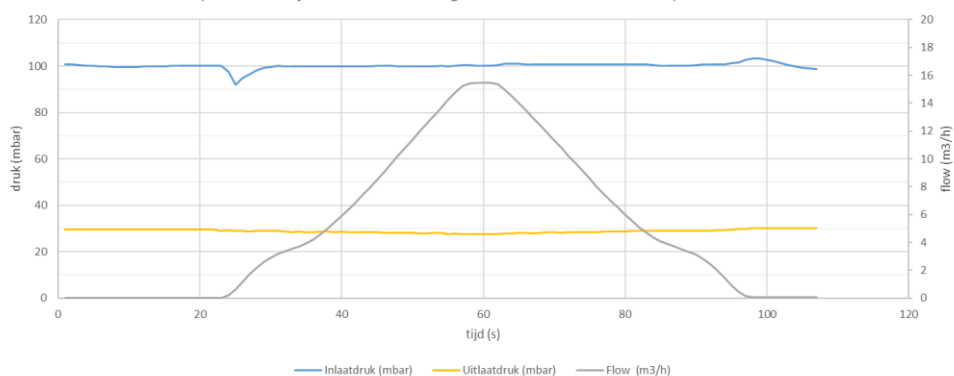
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 31 - aardgas - setpoint Pi 37,5 mbar



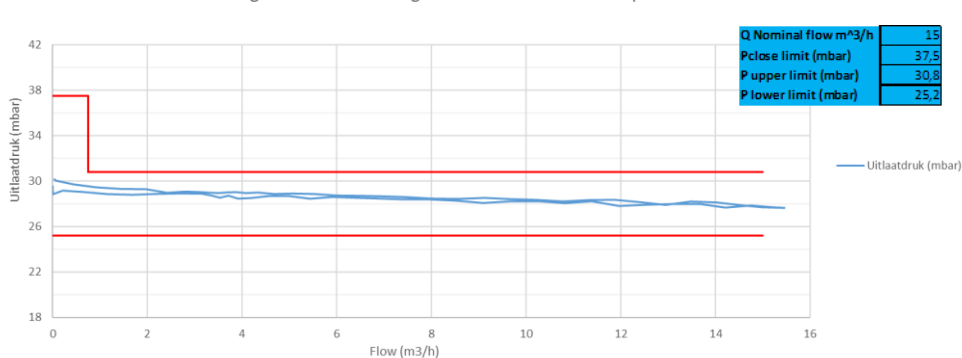
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 31 - aardgas - setpoint Pi 37,5 mbar



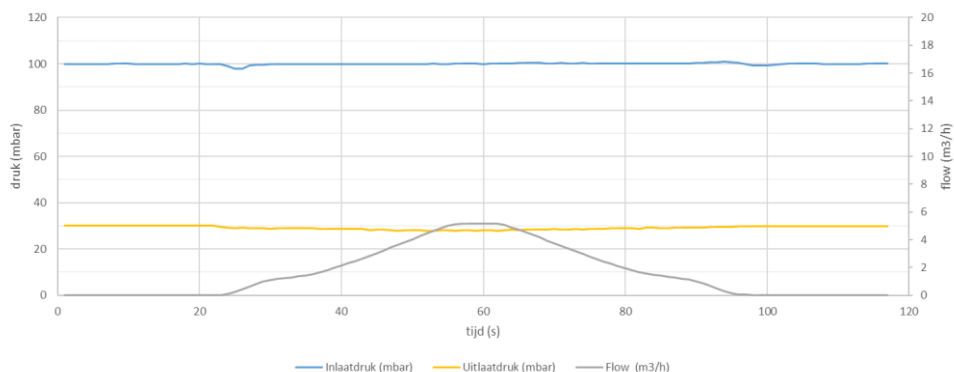
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 31 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



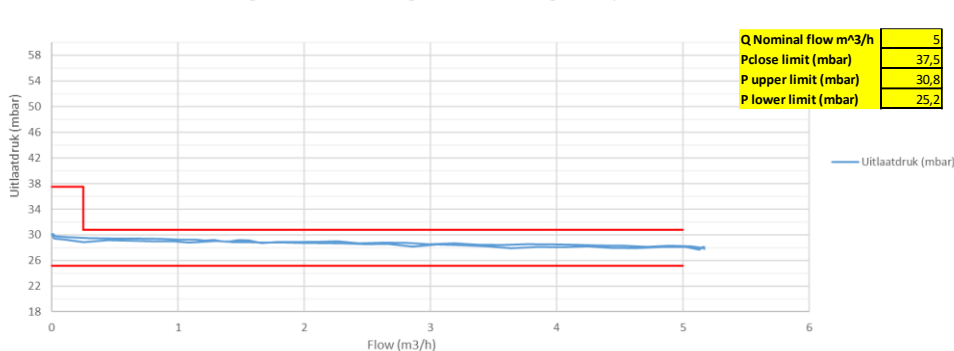
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 31 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



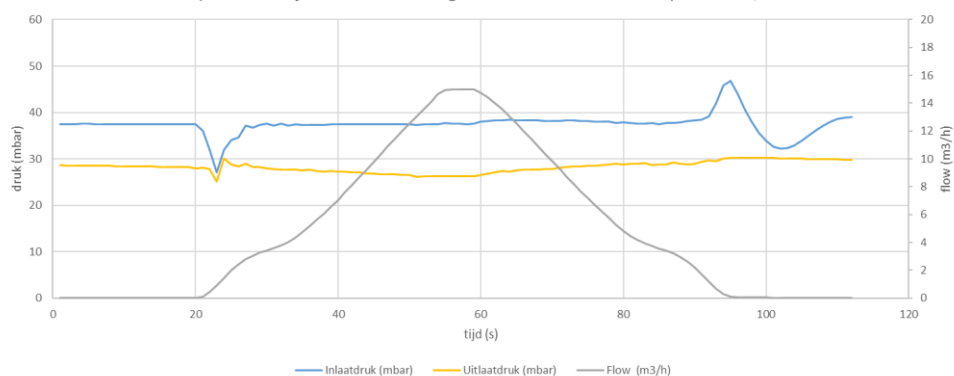
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 31 - aardgas - setpoint Pi 100 mbar



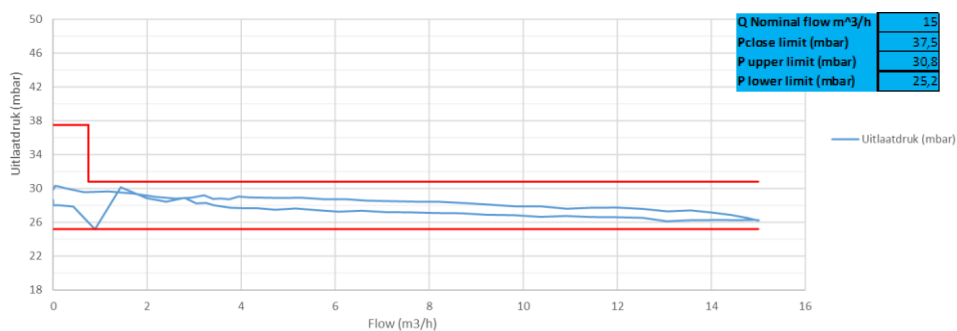
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 31 - aardgas - setpoint Pi 100 mbar



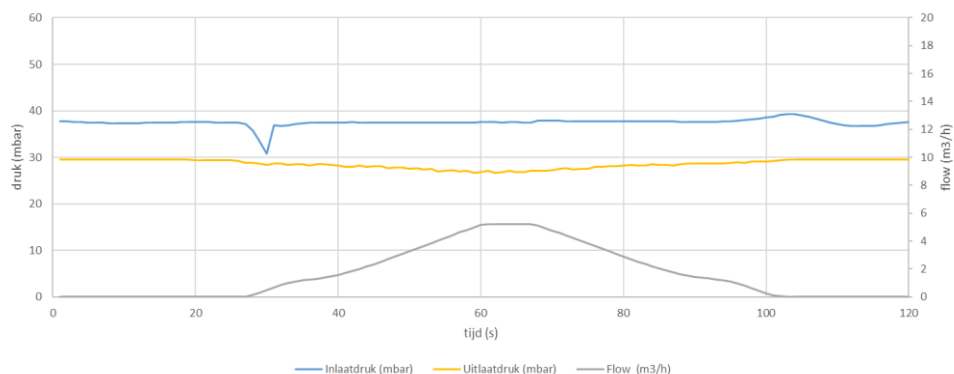
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 33 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



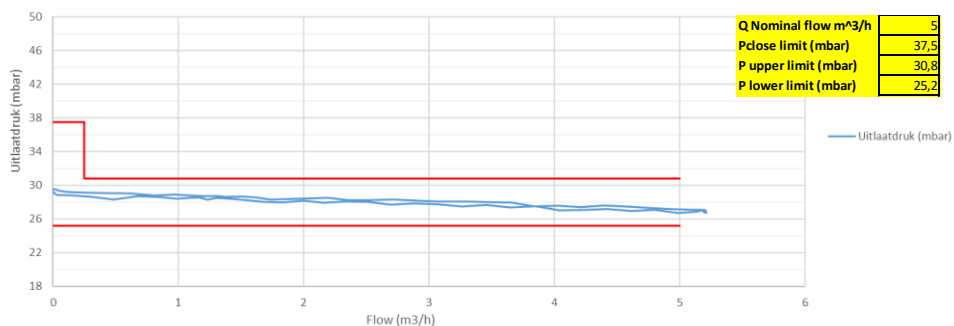
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 33 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



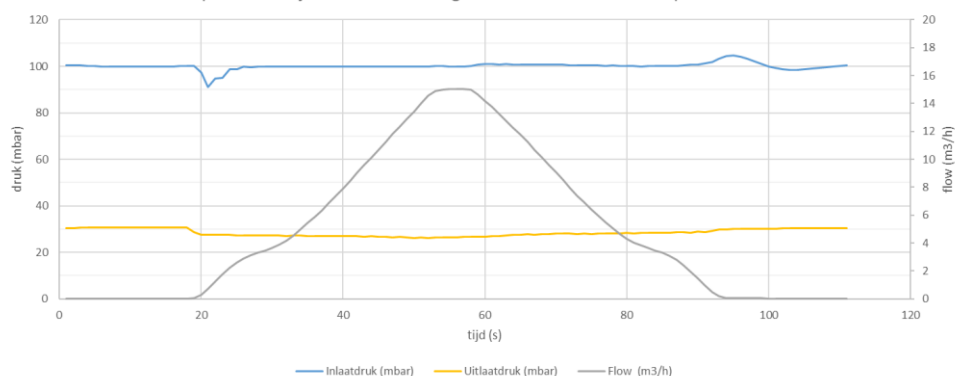
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 33 - aardgas - setpoint Pi 37,5 mbar



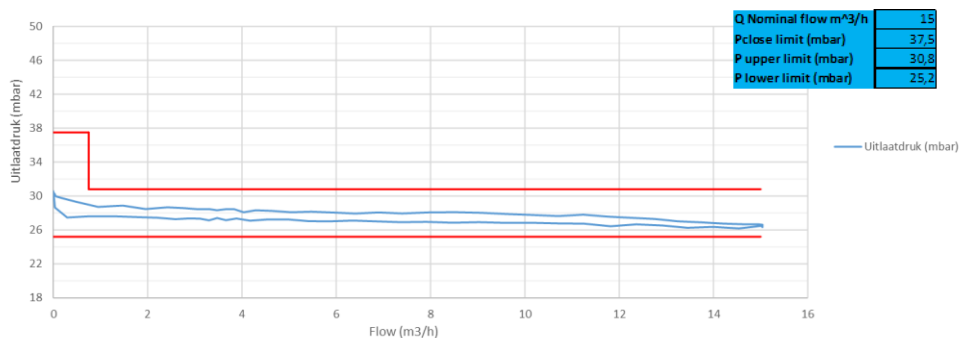
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 33 - aardgas - setpoint Pi 37,5 mbar



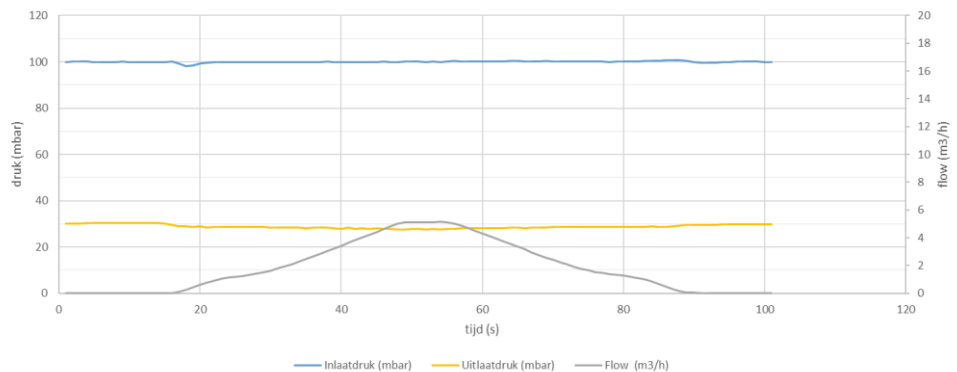
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 33 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



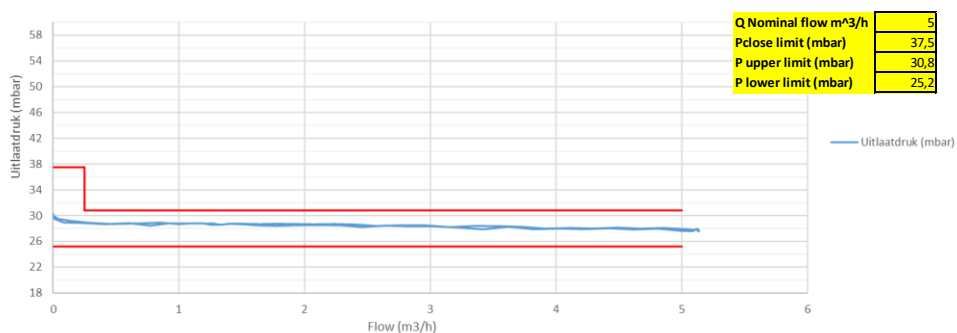
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 33 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



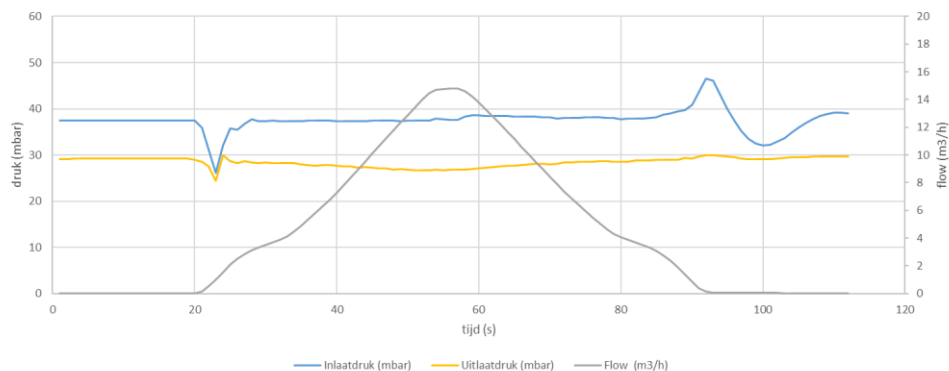
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 33 - aardgas - setpoint Pi 100 mbar



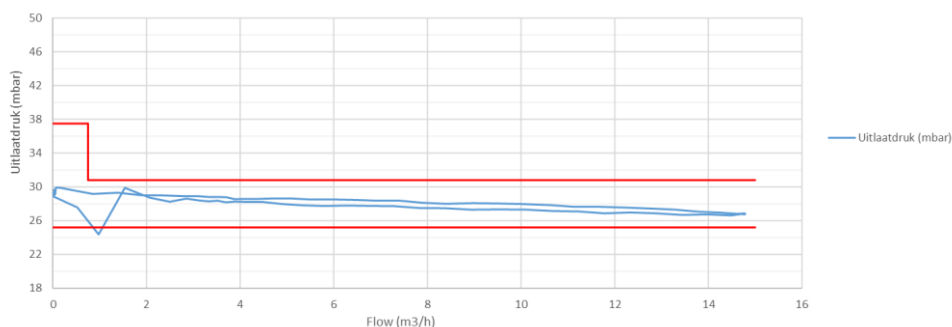
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 33 - aardgas - setpoint Pi 100 mbar



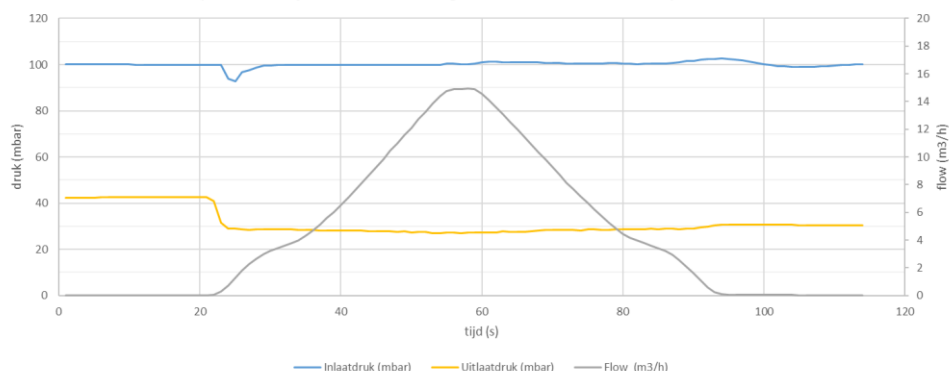
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 35 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



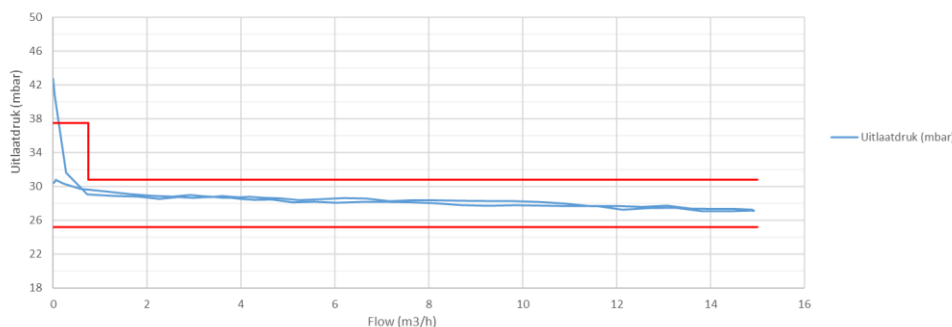
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 35 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



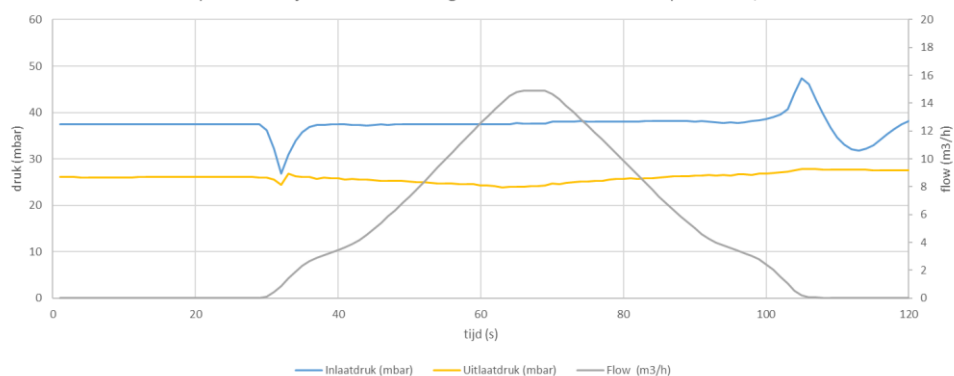
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 35 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



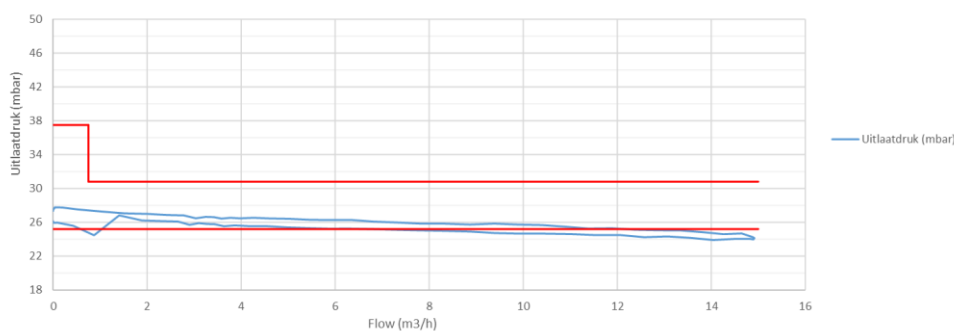
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 35 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



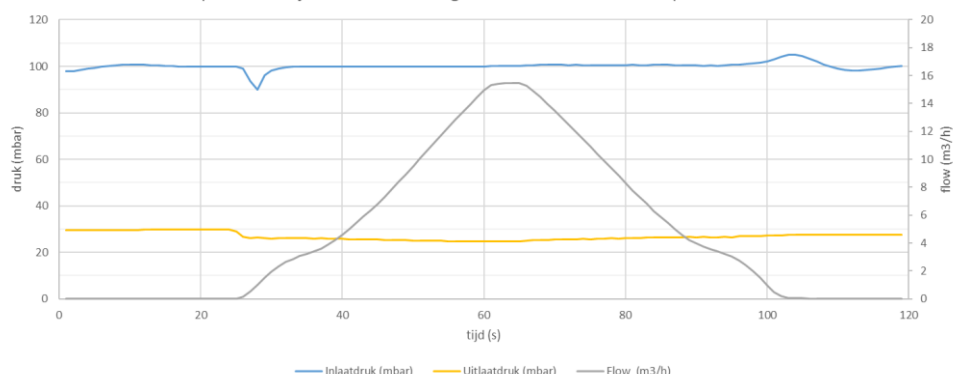
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 36 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



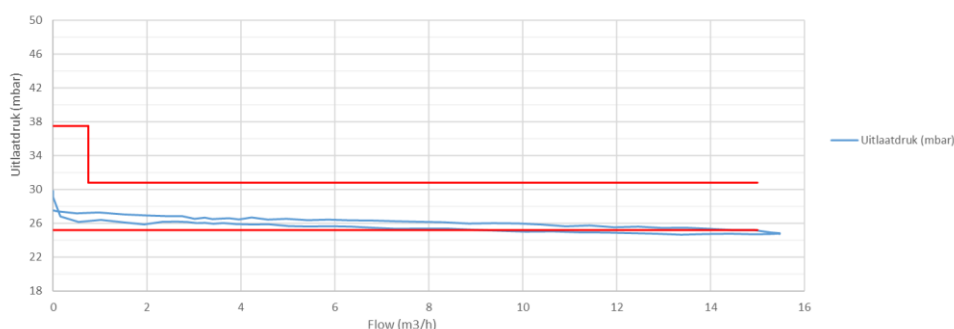
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 36 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 36 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar

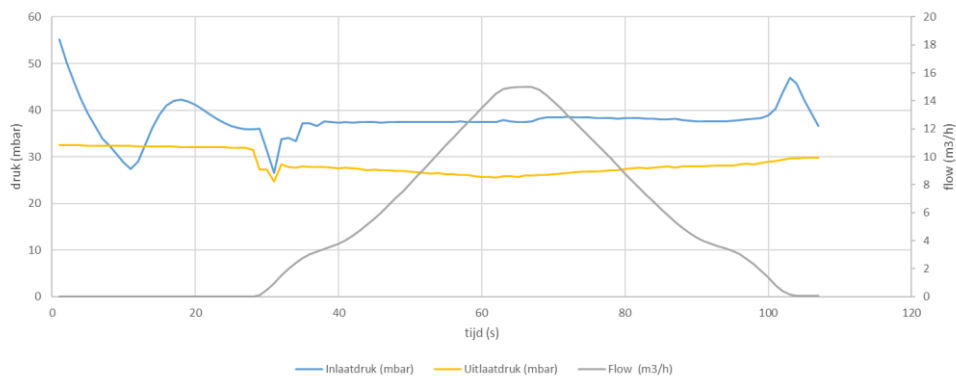


Regelkarakteristiek - regelaarnr. 36 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar

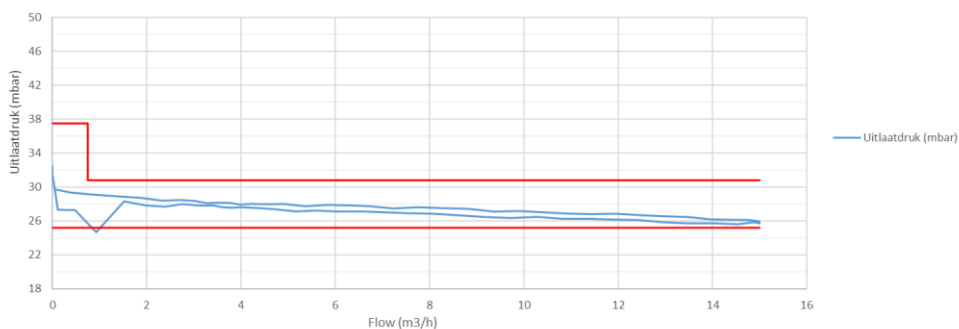




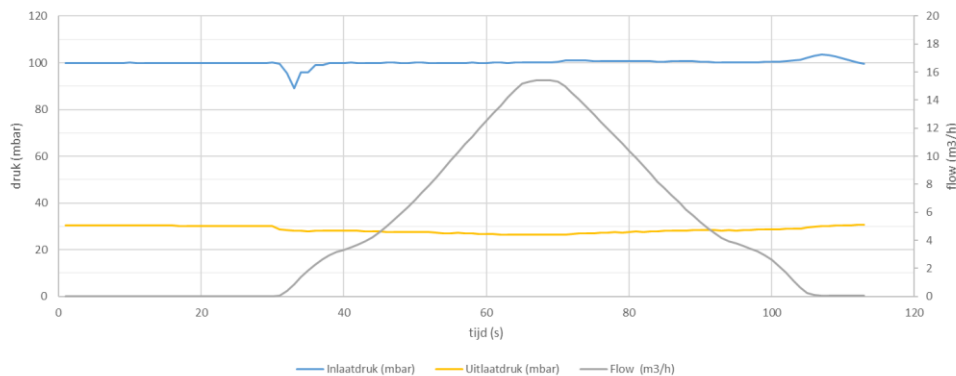
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 37 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



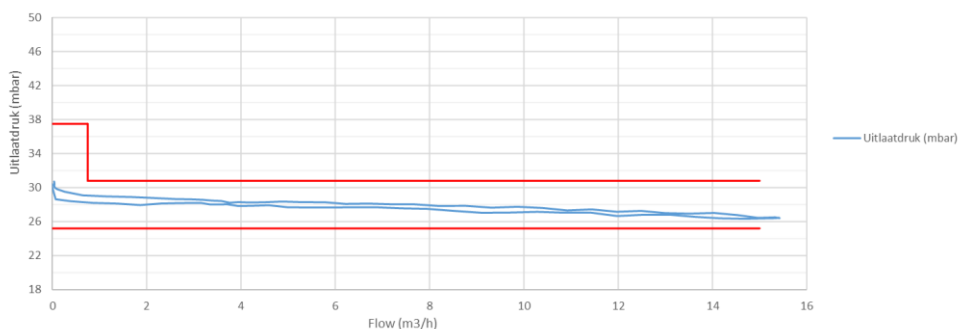
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 37 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



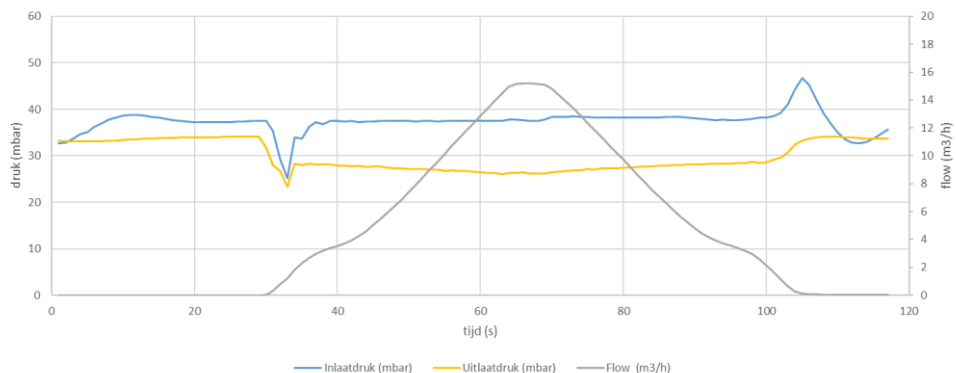
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 37 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



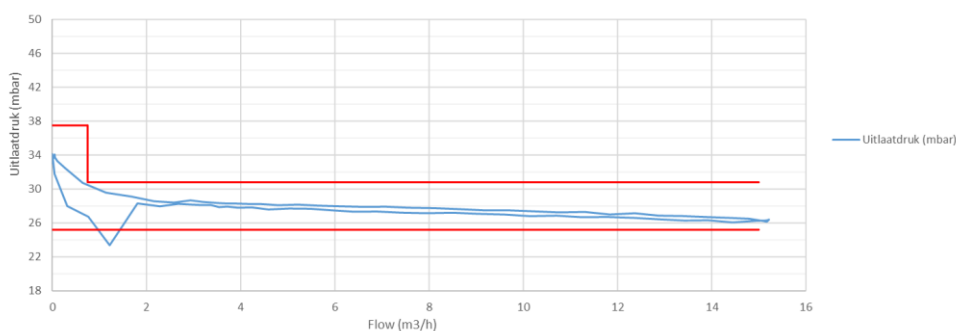
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 37 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



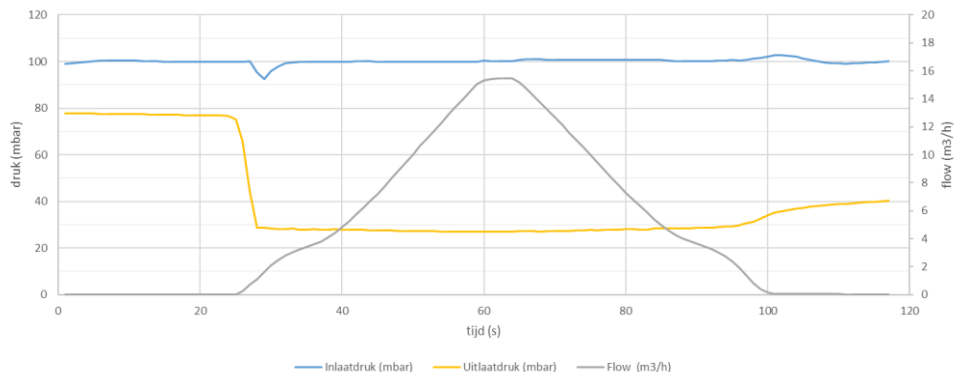
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 38 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



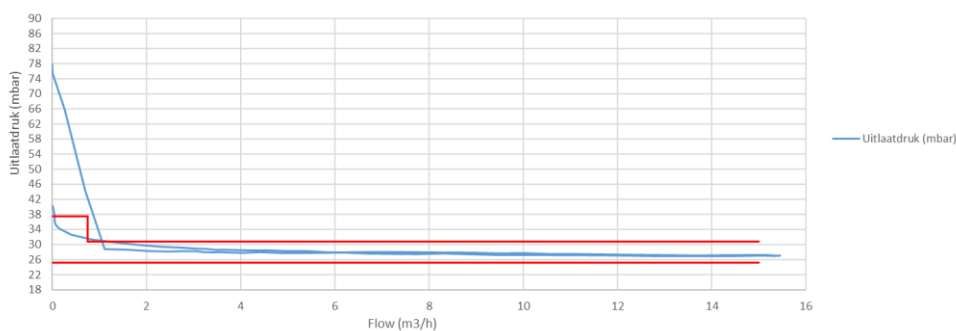
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 38 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



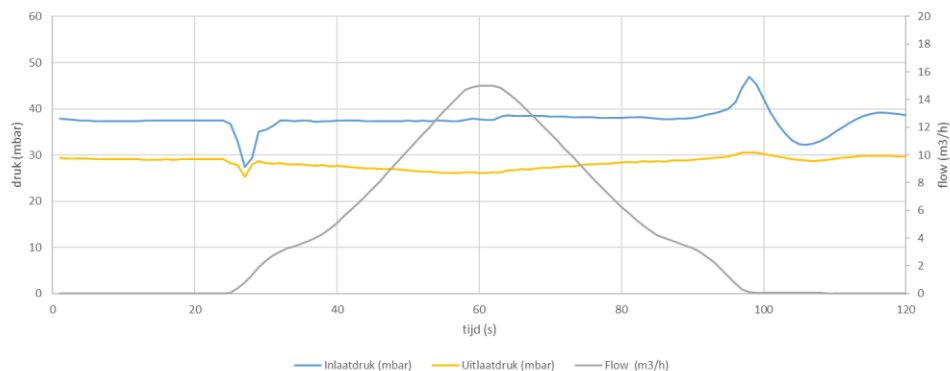
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 38 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



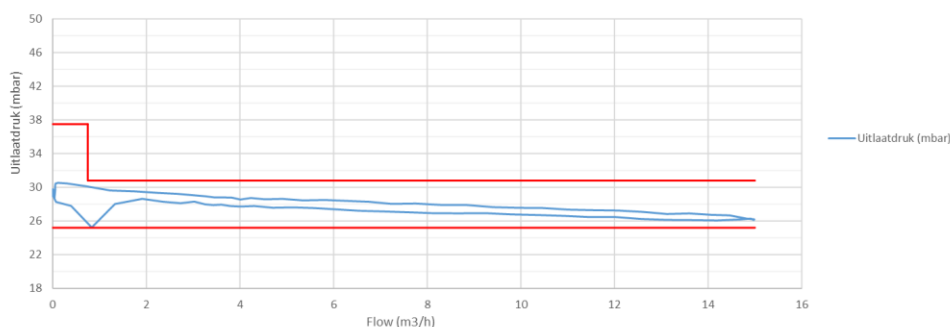
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 38 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



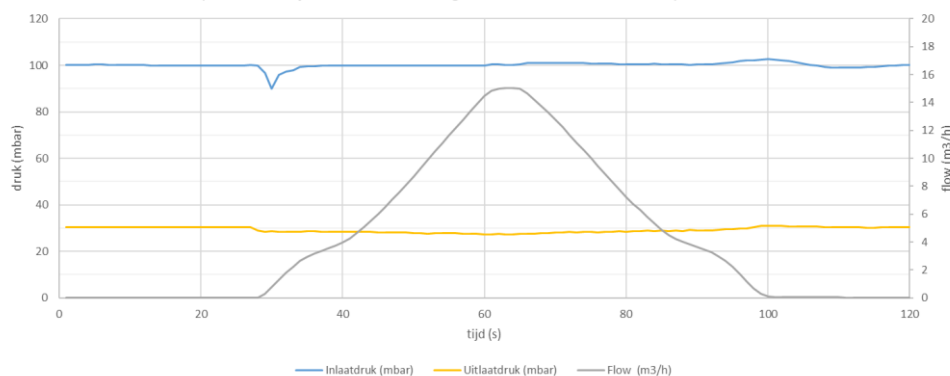
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 40 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



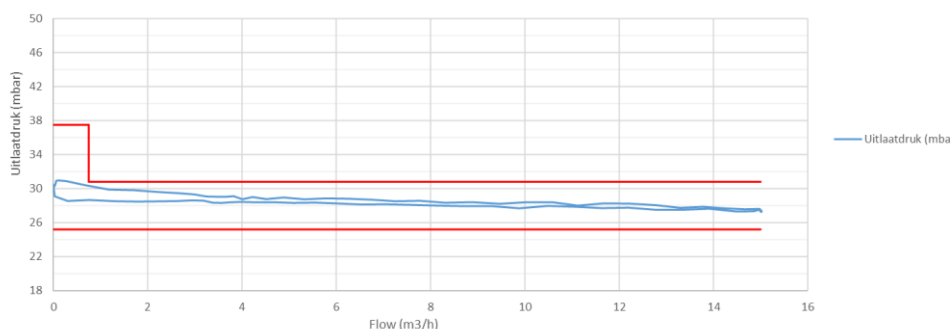
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 40 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



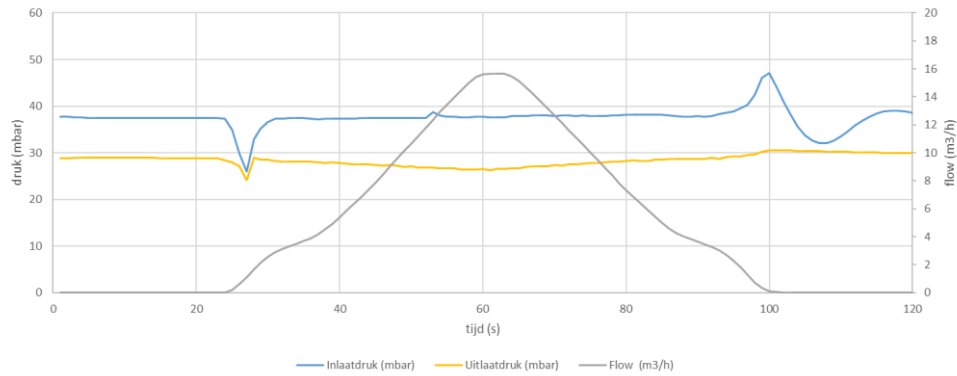
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 40 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



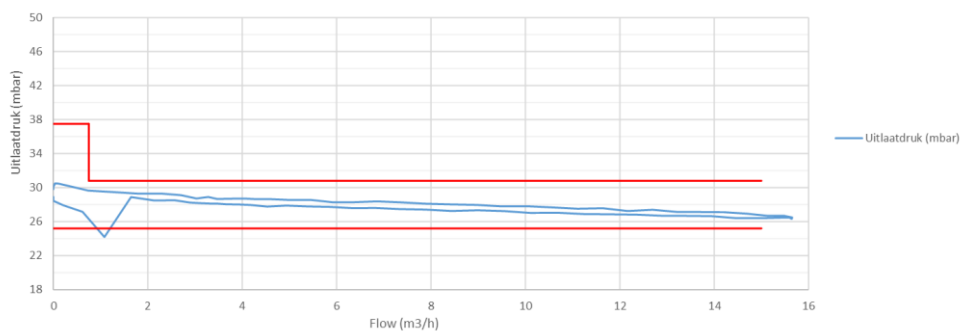
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 40 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



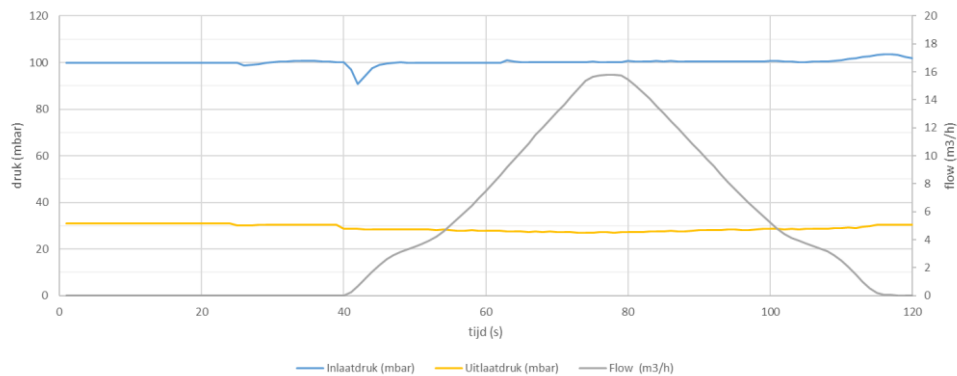
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 41 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



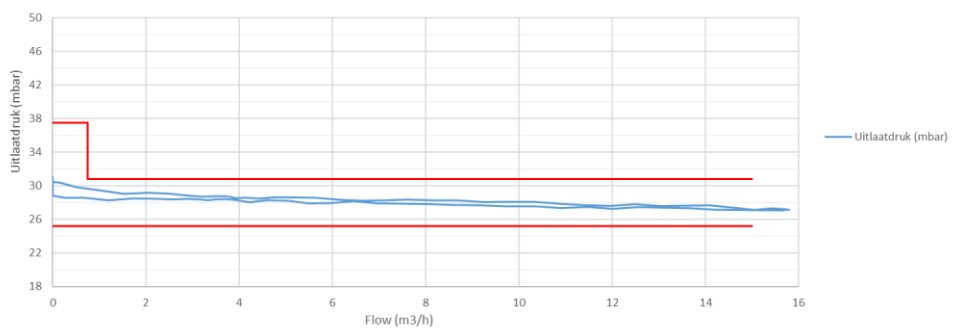
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 41 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



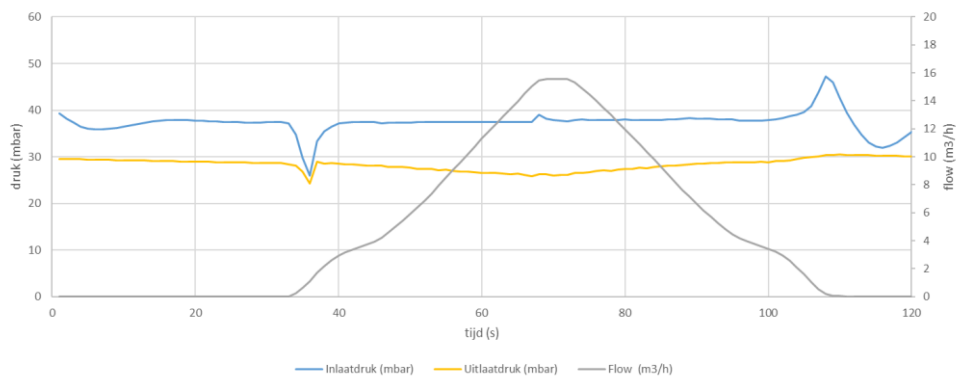
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 41 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



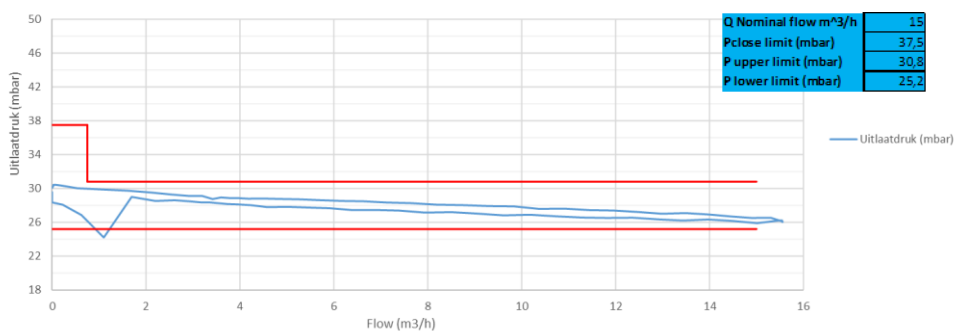
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 41 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



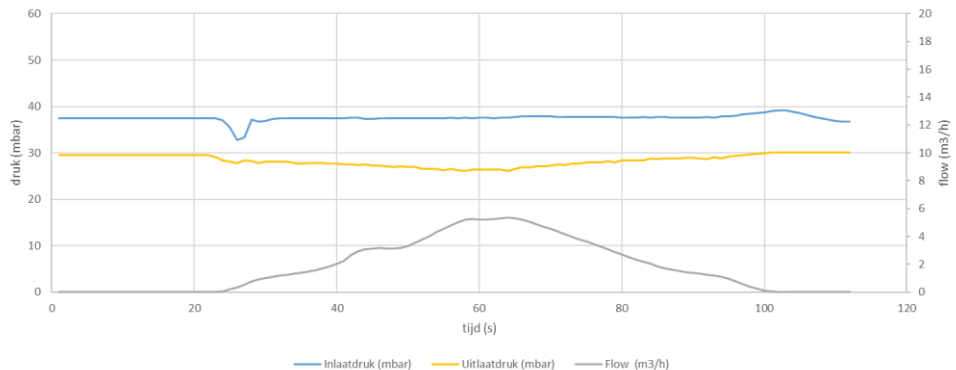
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 42 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



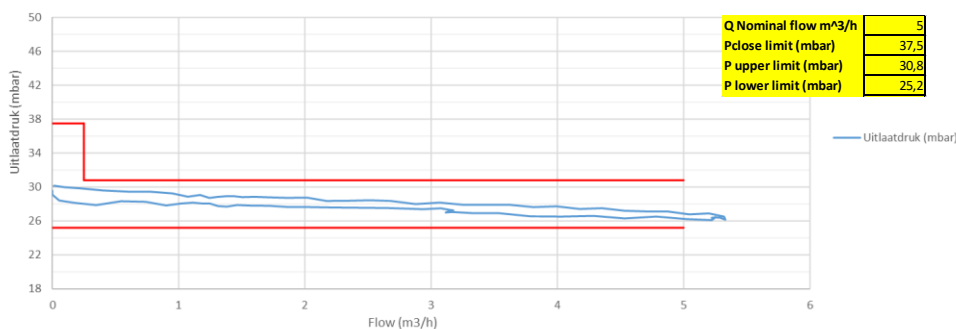
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 42 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



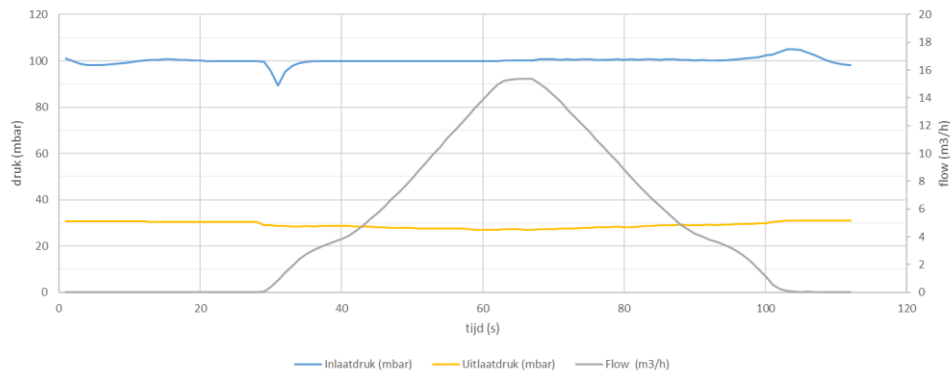
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 42 - aardgas - setpoint Pi 37,5 mbar



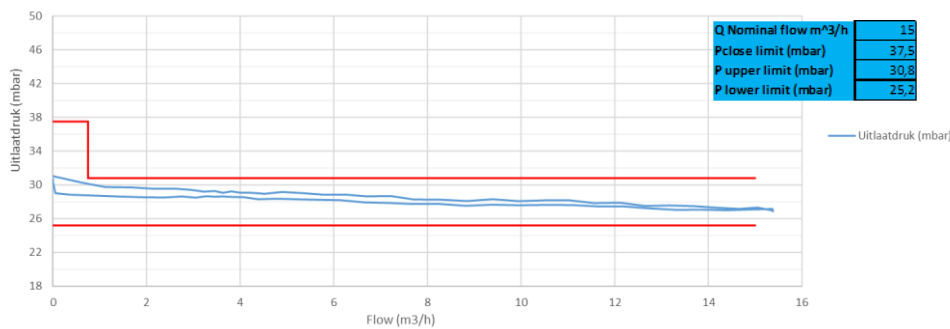
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 42 - aardgas - setpoint Pi 37,5 mbar



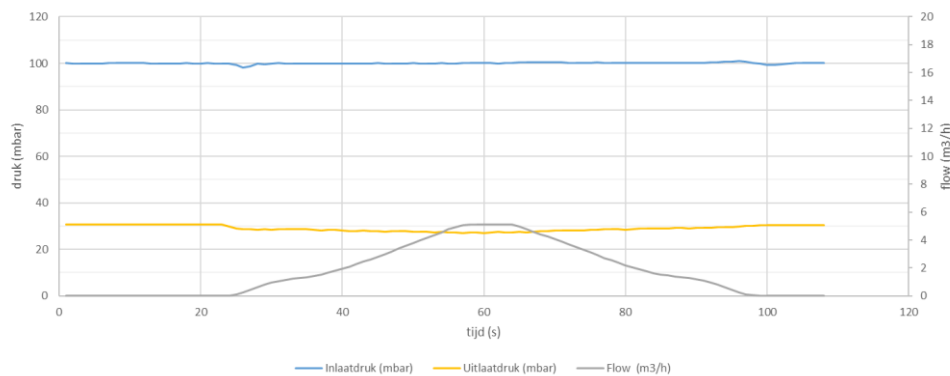
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 42 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



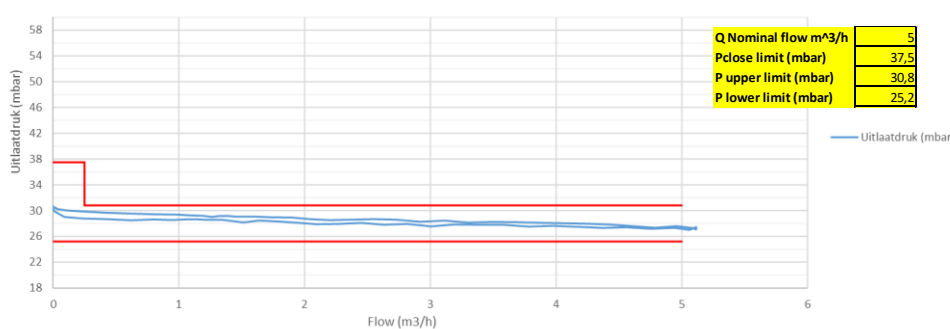
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 42 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



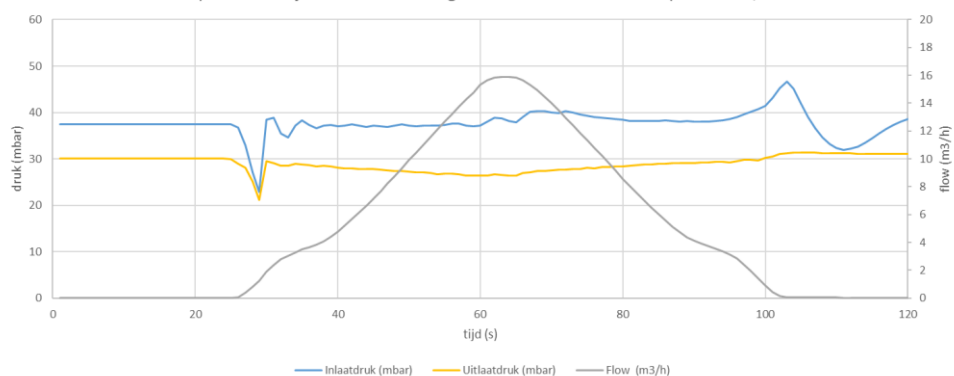
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 42 - aardgas - setpoint Pi 100 mbar



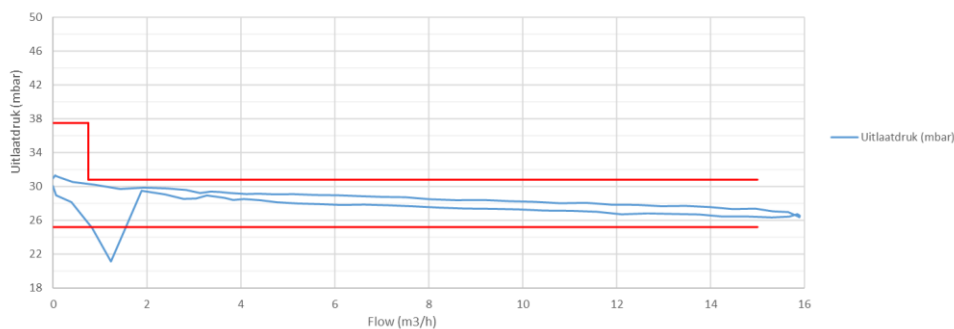
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 42 - aardgas - setpoint Pi 100 mbar



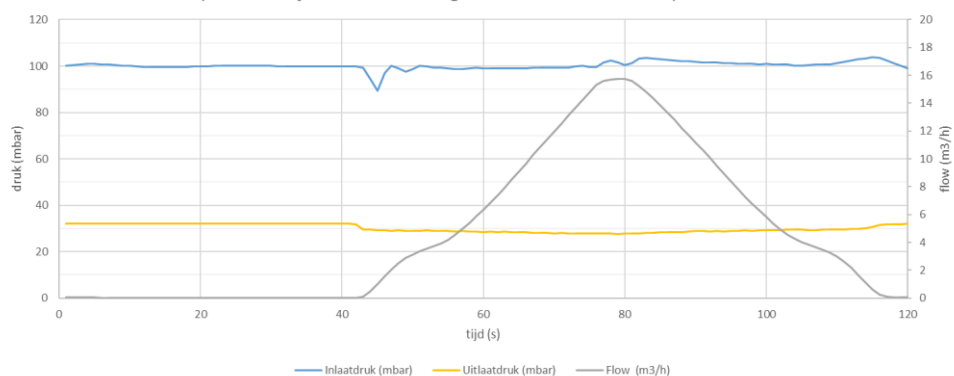
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 43 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



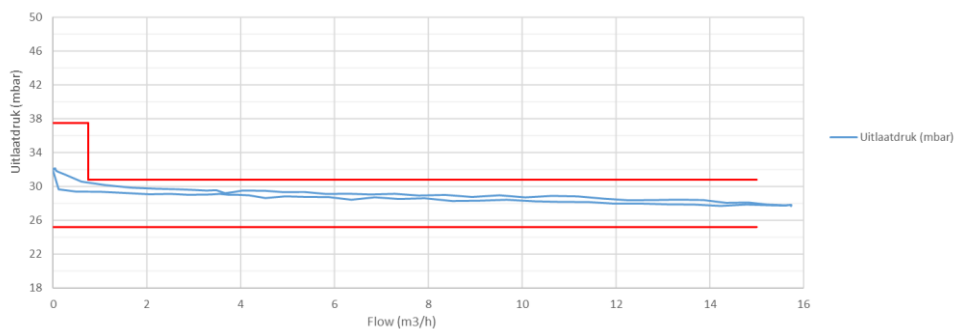
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 43 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



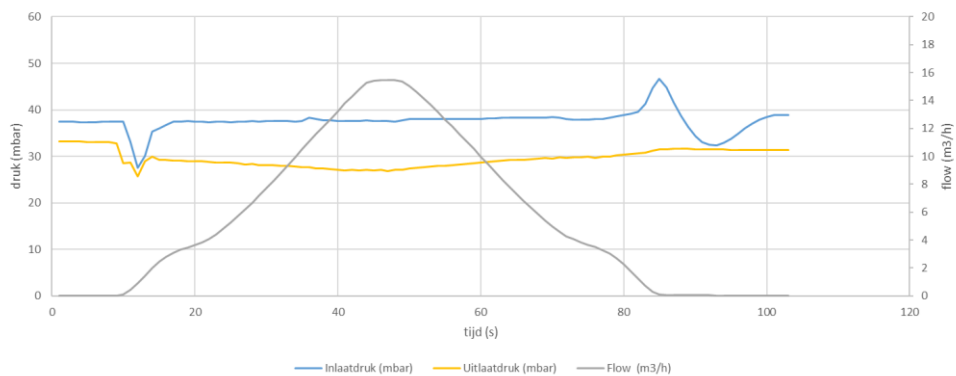
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 43 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



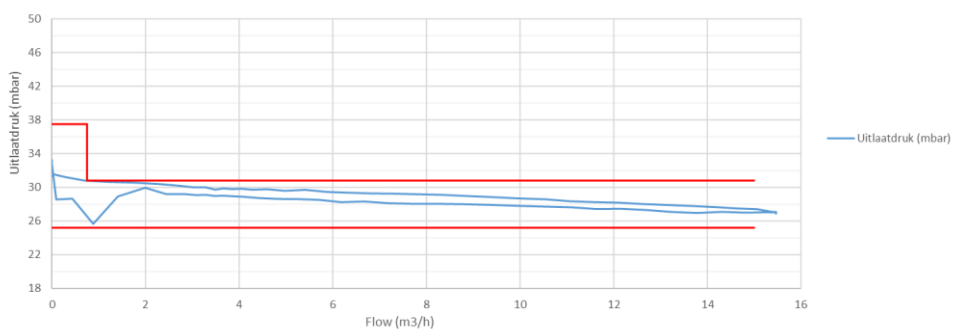
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 43 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



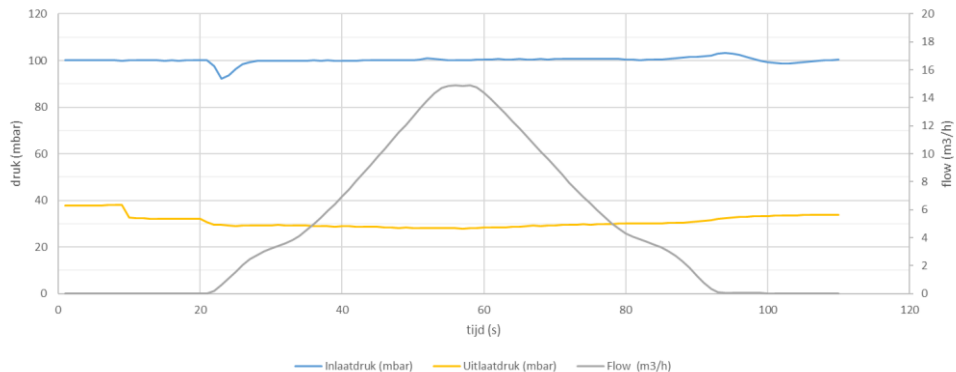
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 44 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



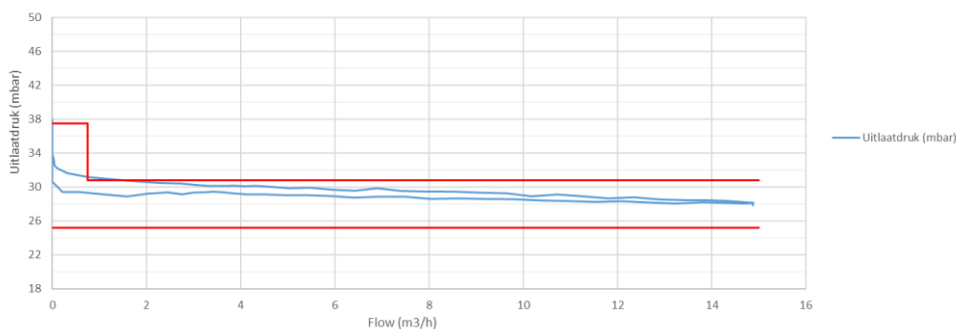
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 44 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 44 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar

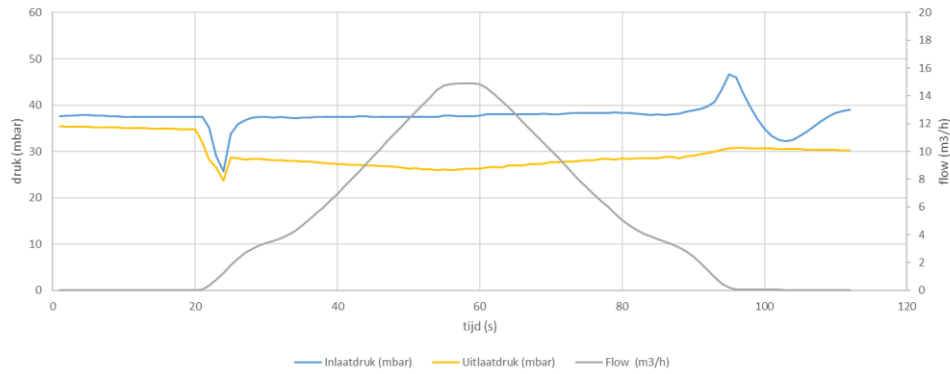


Regelkarakteristiek - regelaarnr. 44 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar

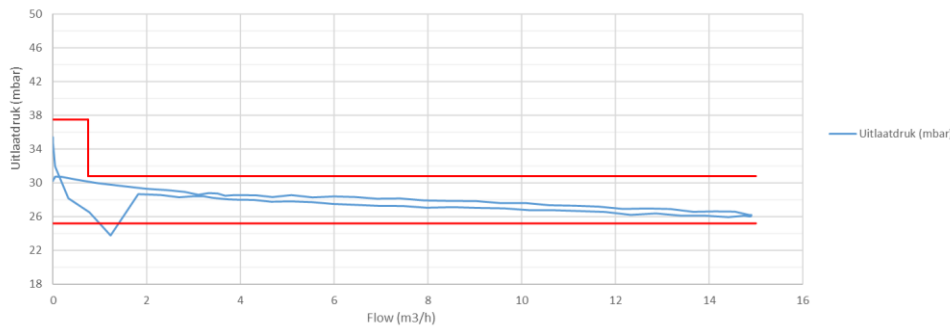




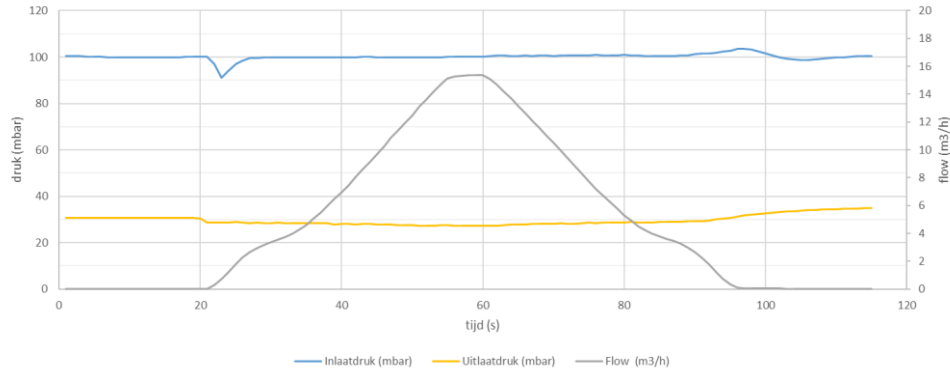
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 45 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



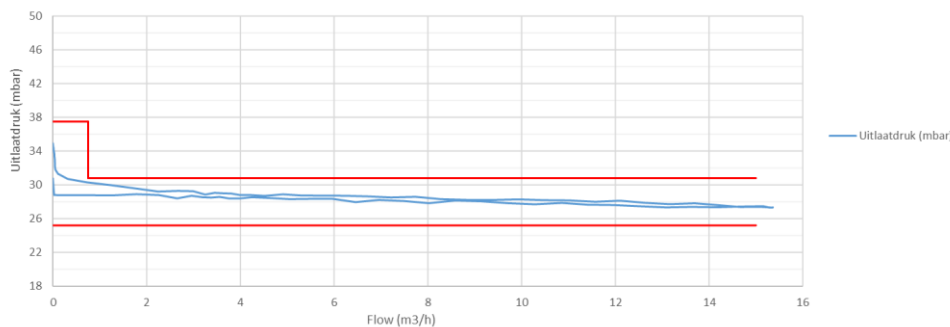
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 45 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



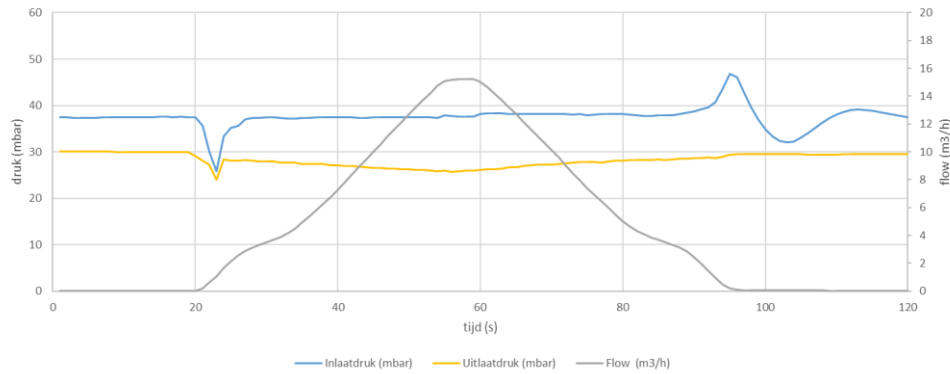
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 45 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



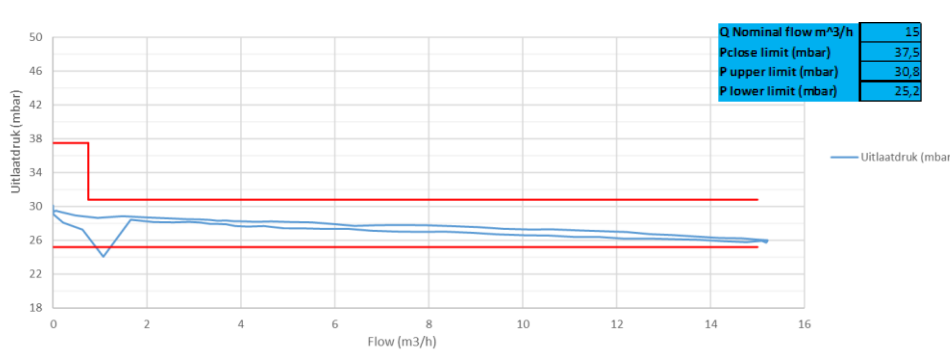
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 45 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



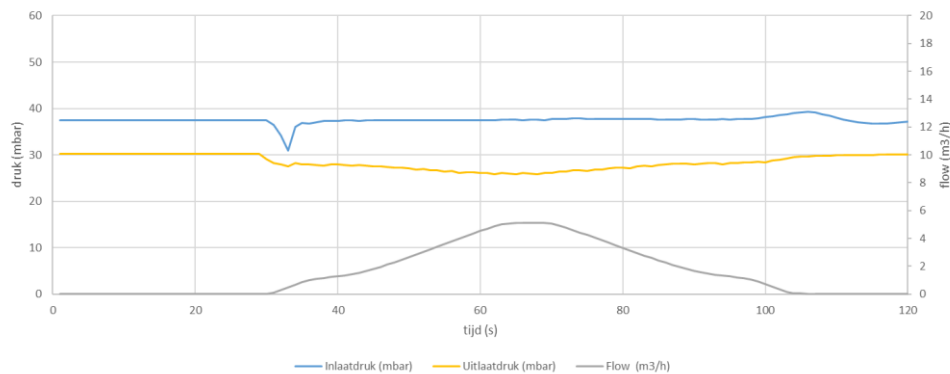
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 47 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



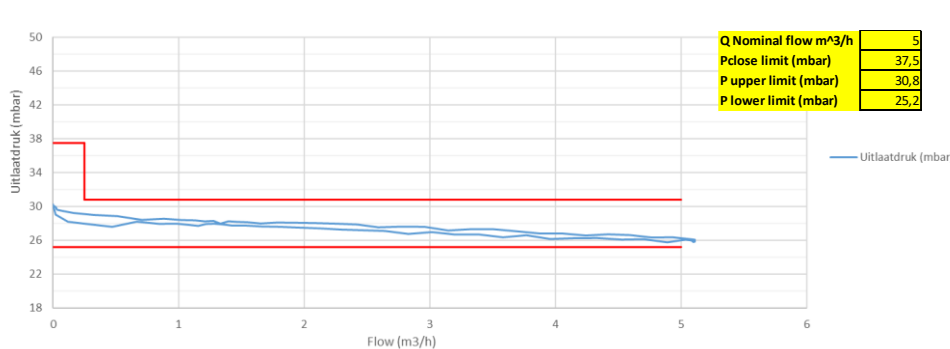
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 47 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



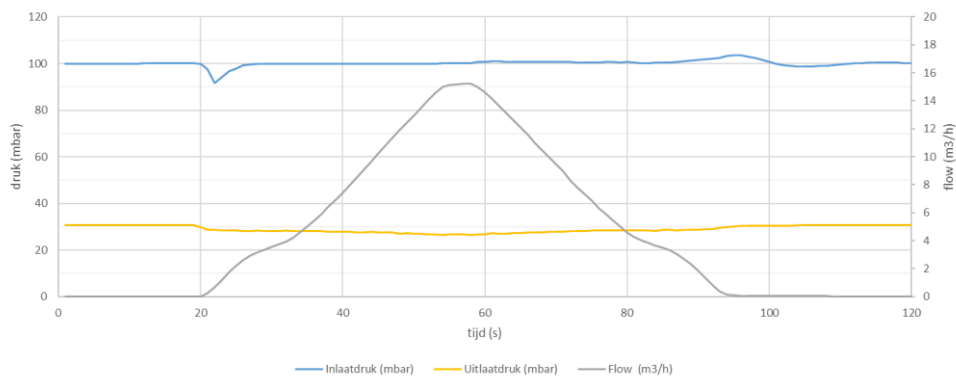
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 47 - aardgas - setpoint Pi 37,5 mbar



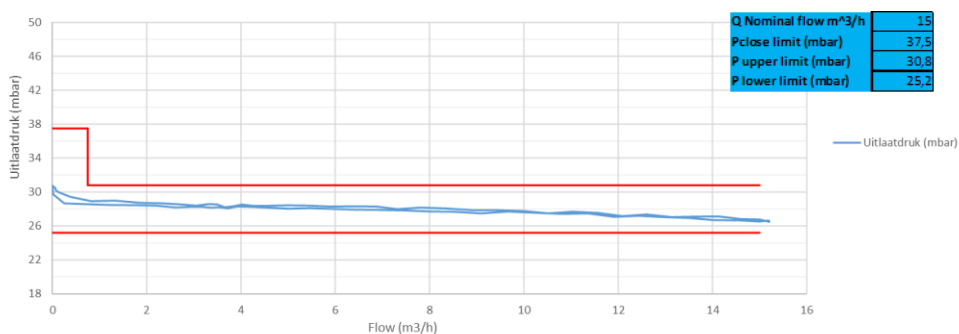
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 47 - aardgas - setpoint Pi 37,5 mbar



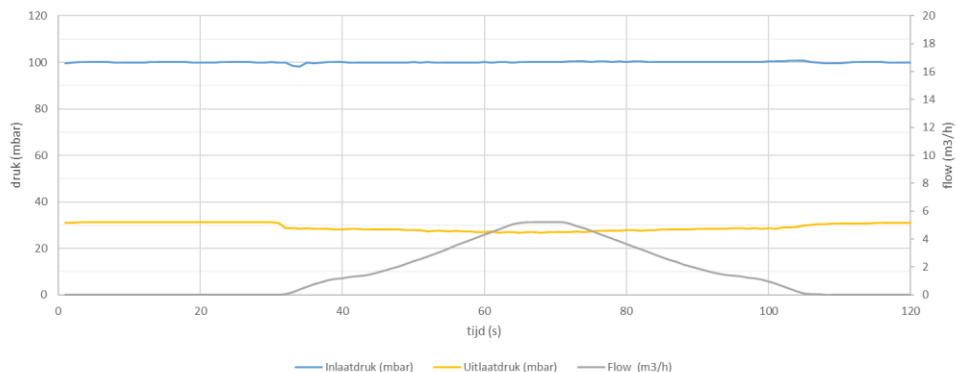
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 47 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



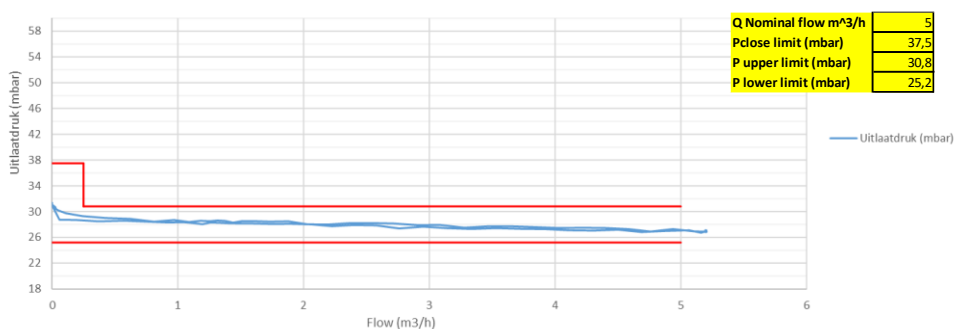
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 47 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



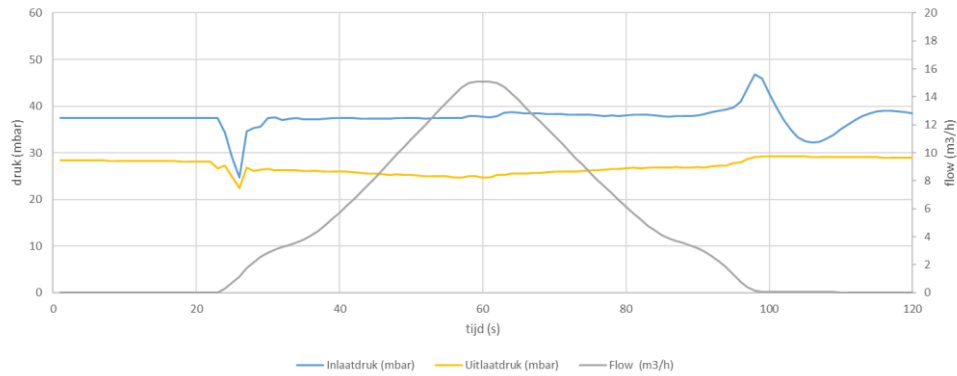
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 47 - aardgas - setpoint Pi 100 mbar



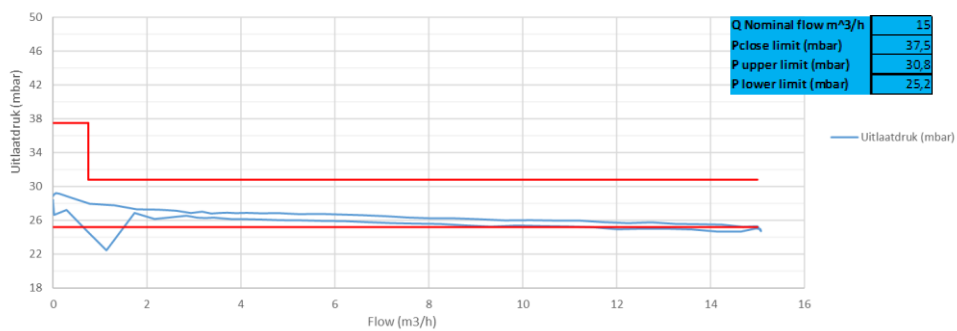
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 47 - aardgas - setpoint Pi 100 mbar



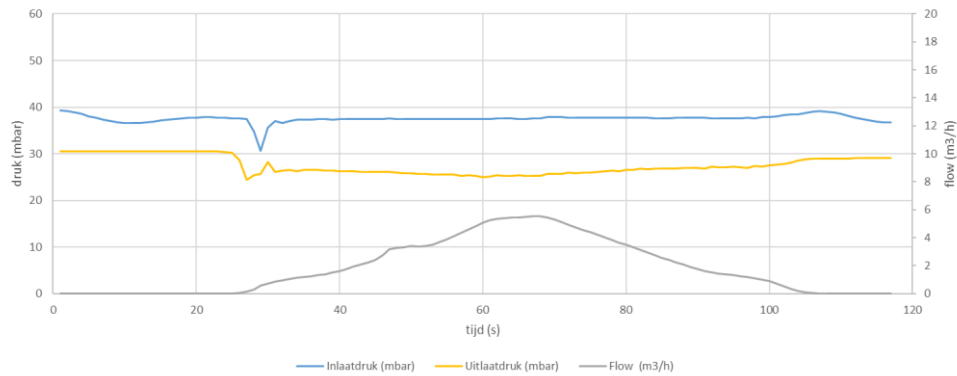
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 48 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



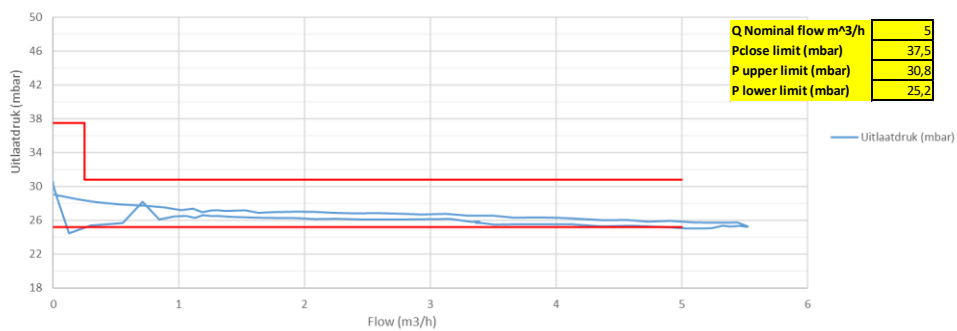
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 48 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



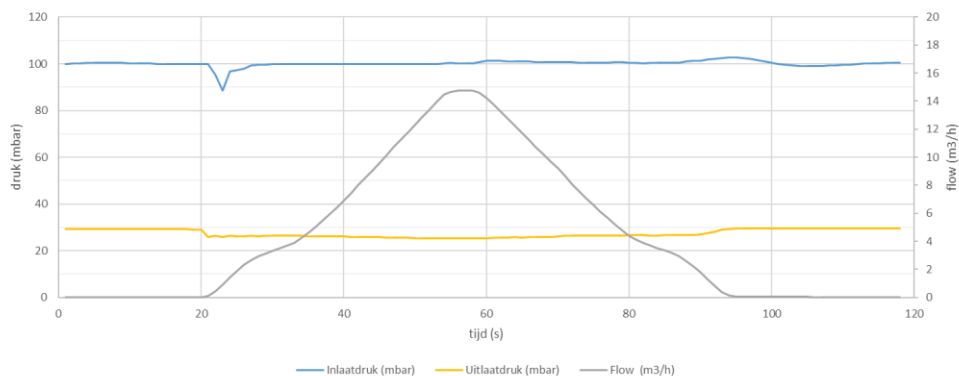
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 48 - aardgas - setpoint Pi 37,5 mbar



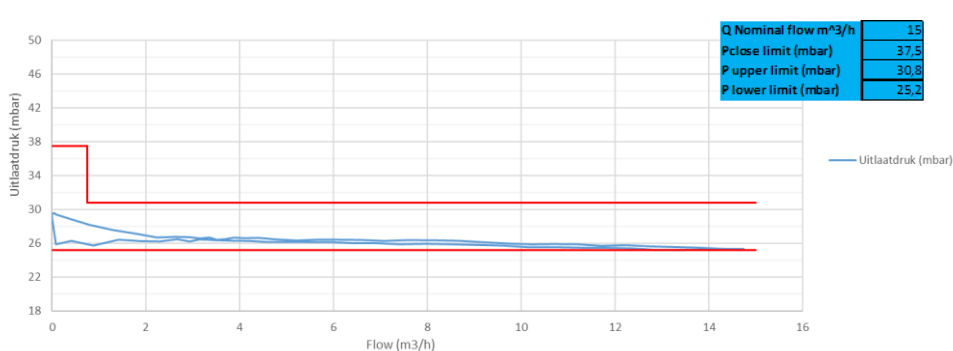
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 48 - aardgas - setpoint Pi 37,5 mbar



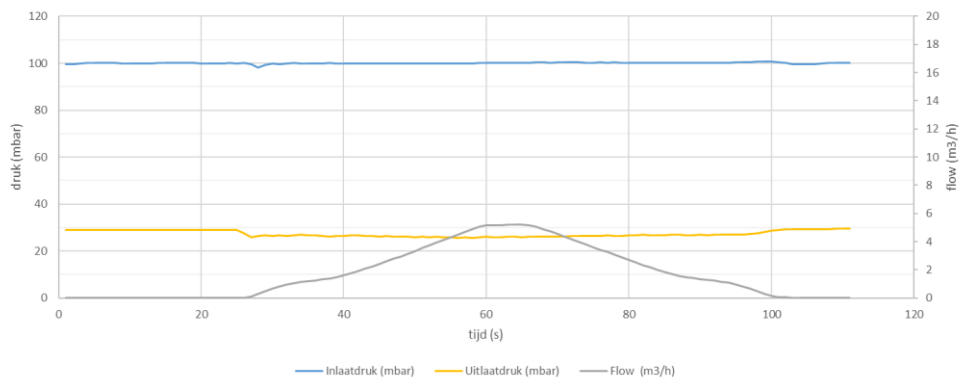
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 48 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



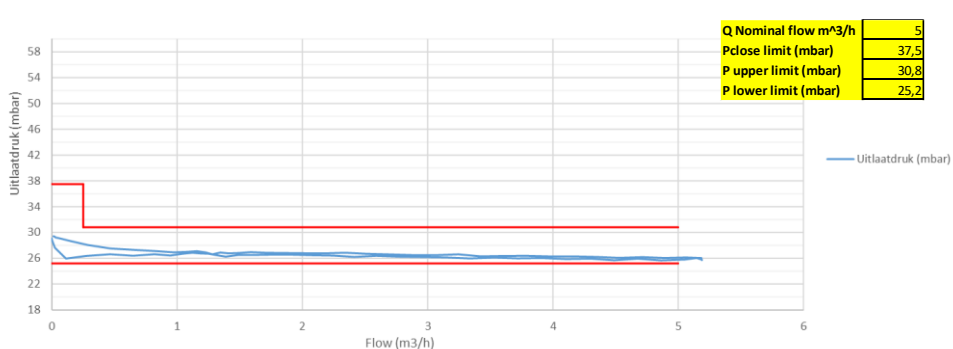
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 48 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



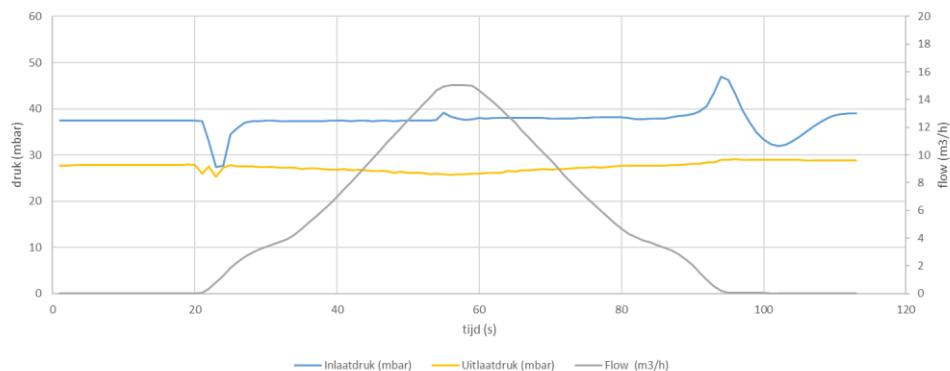
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 48 - aardgas - setpoint Pi 100 mbar



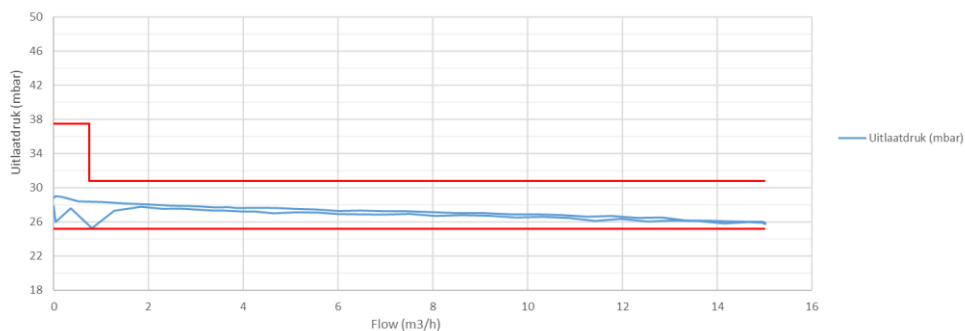
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 48 - aardgas - setpoint Pi 100 mbar



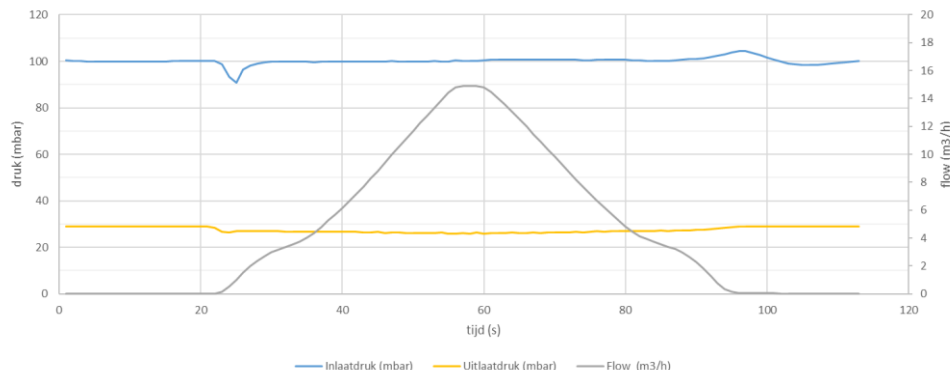
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 49 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



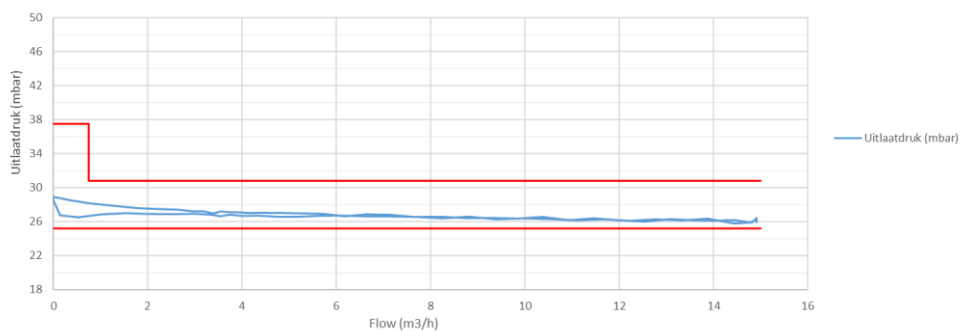
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 49 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



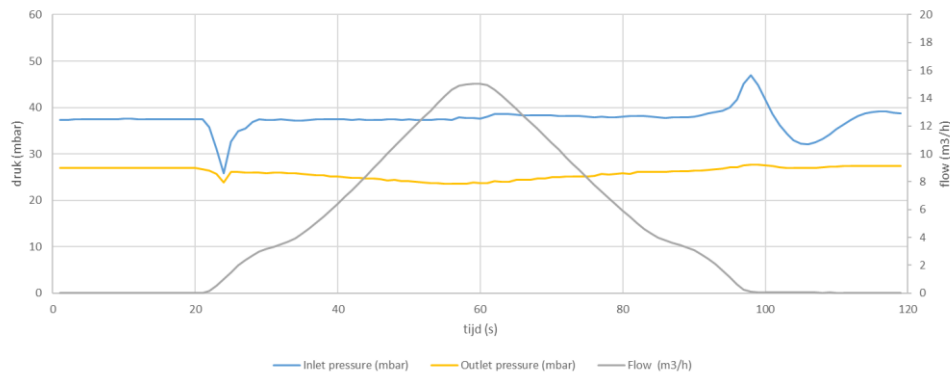
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 49 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



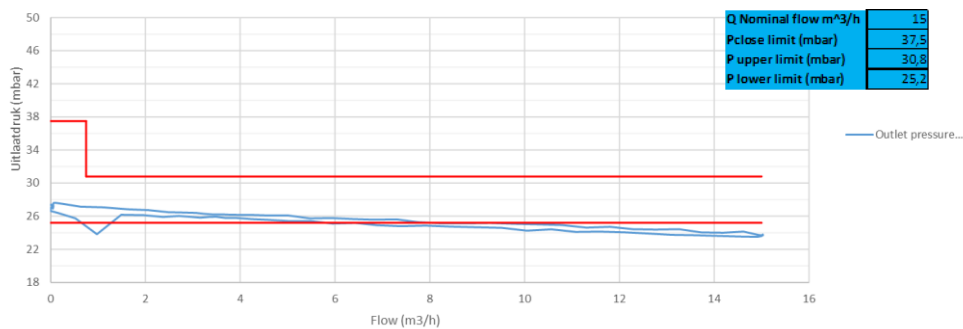
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 49 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



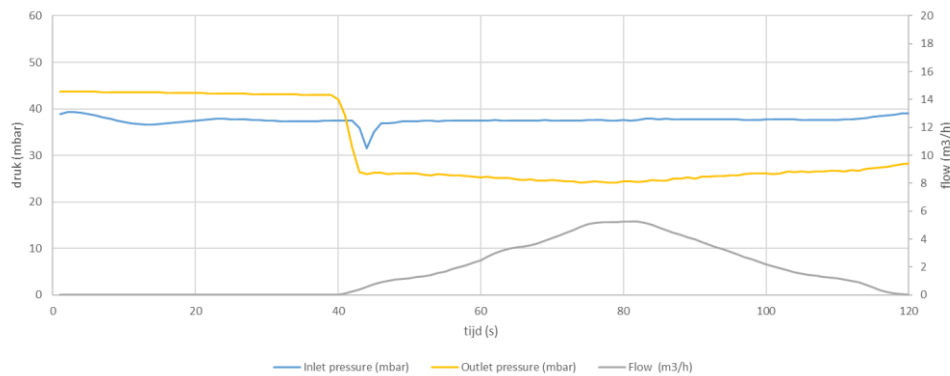
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 50 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



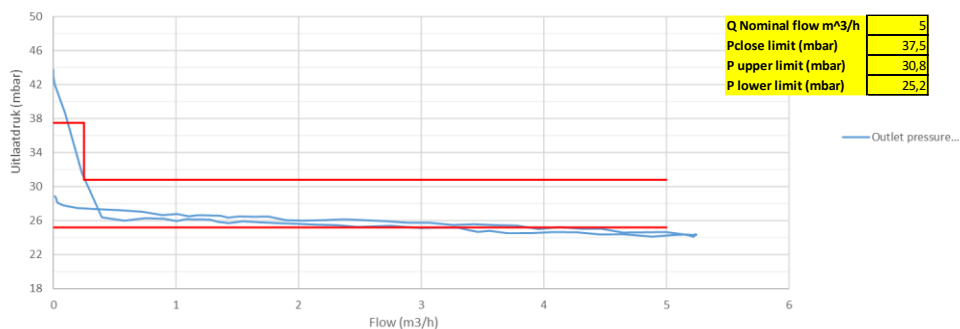
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 50 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



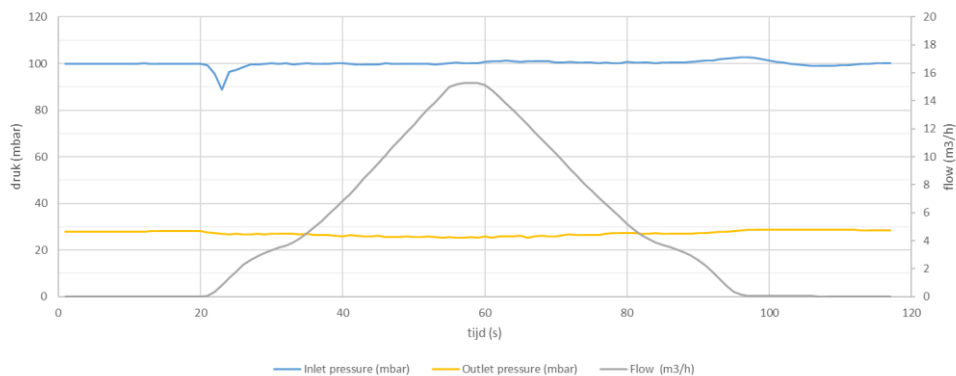
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 50 - aardgas - setpoint Pi 37,5 mbar



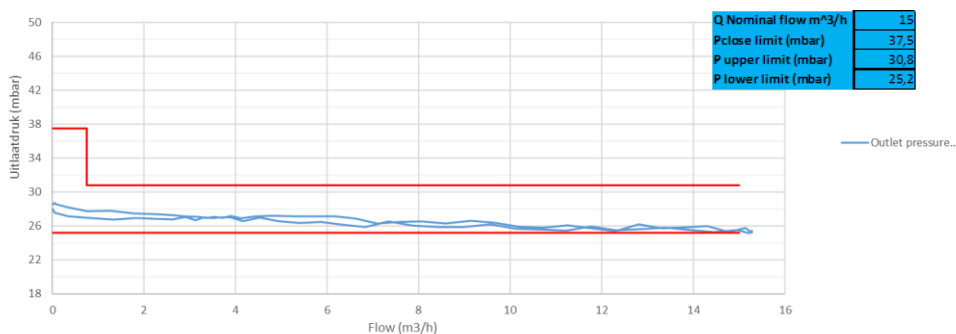
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 50 - aardgas - setpoint Pi 37,5 mbar



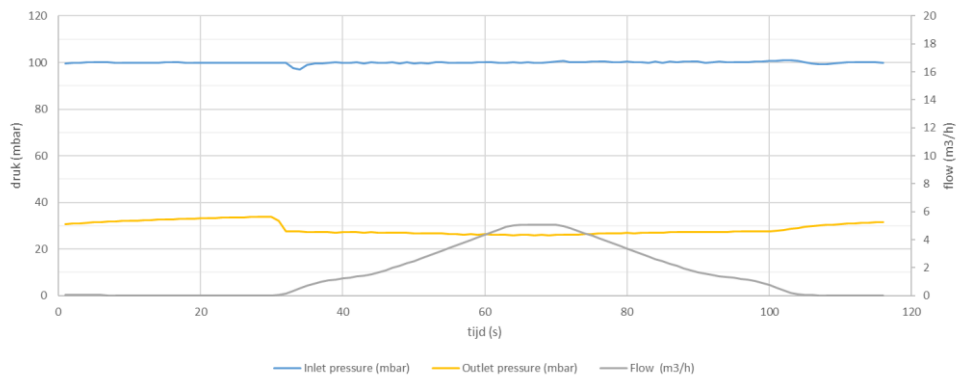
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 50 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



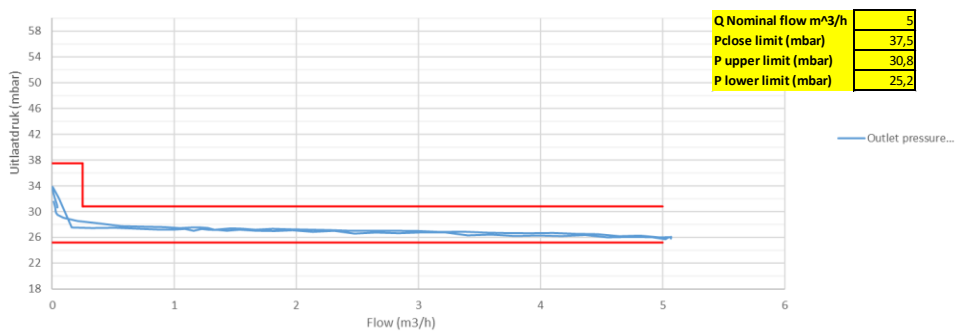
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 50 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 50 - aardgas - setpoint Pi 100 mbar

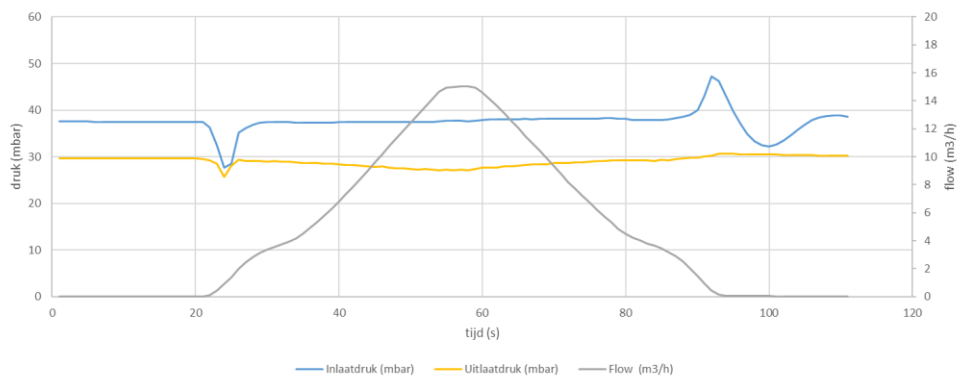


Regelkarakteristiek - regelaarnr. 50 - aardgas - setpoint Pi 100 mbar

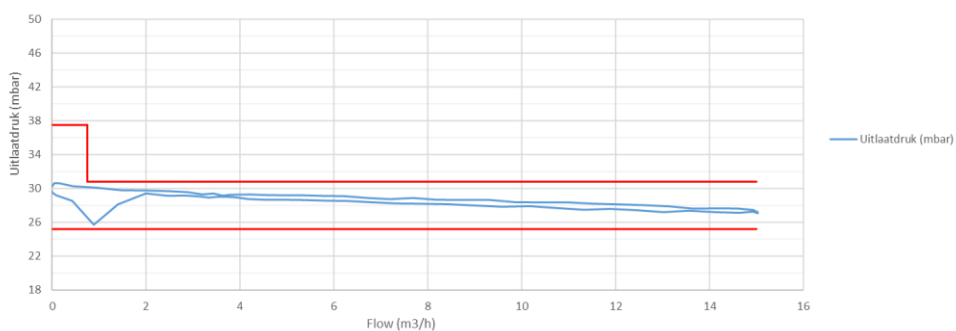




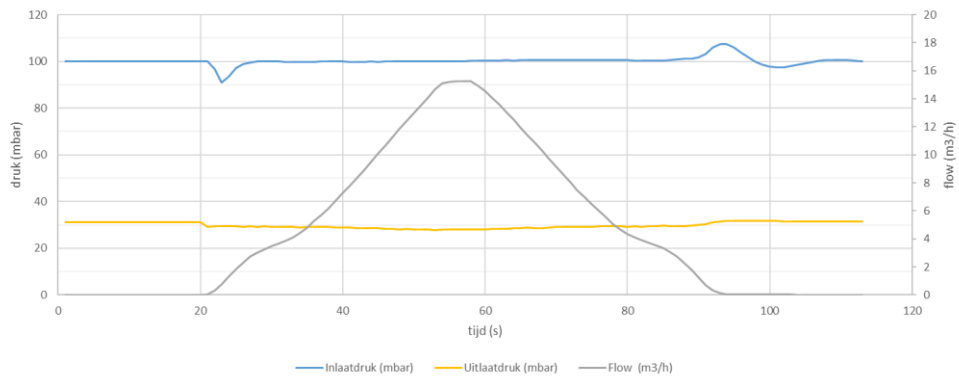
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 51 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



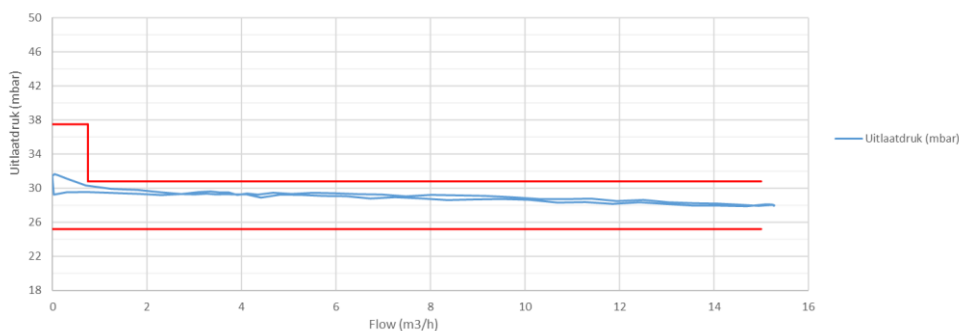
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 51 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



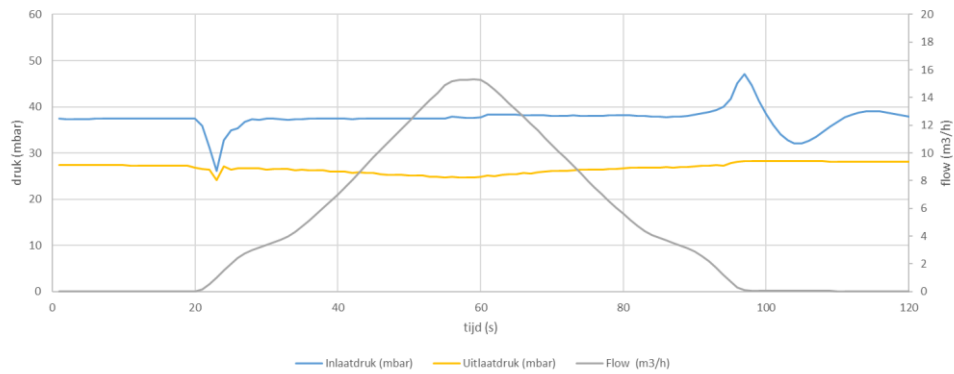
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 51 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



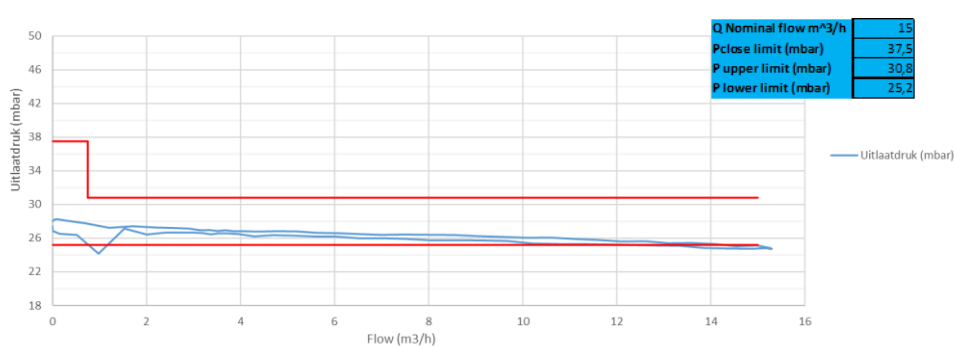
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 51 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



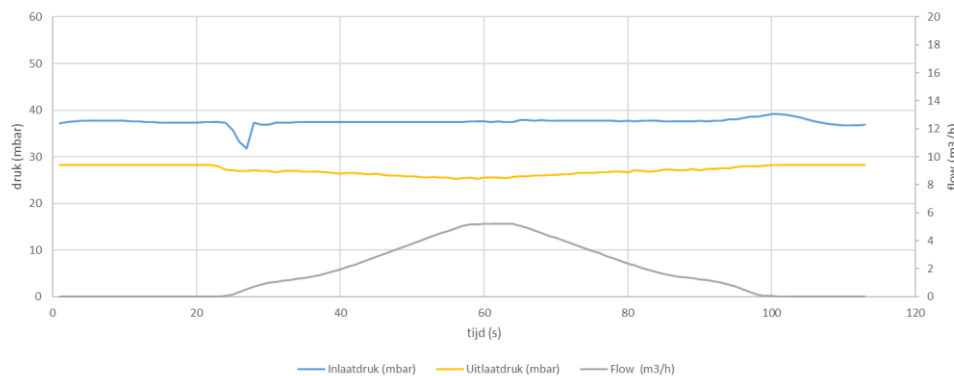
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 52 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



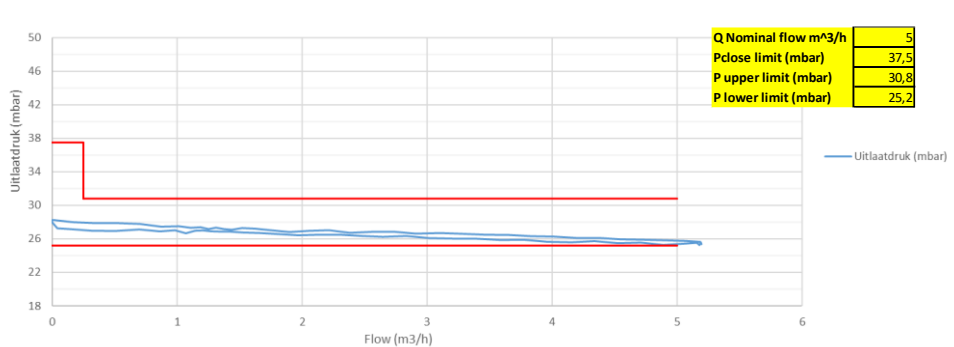
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 52 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



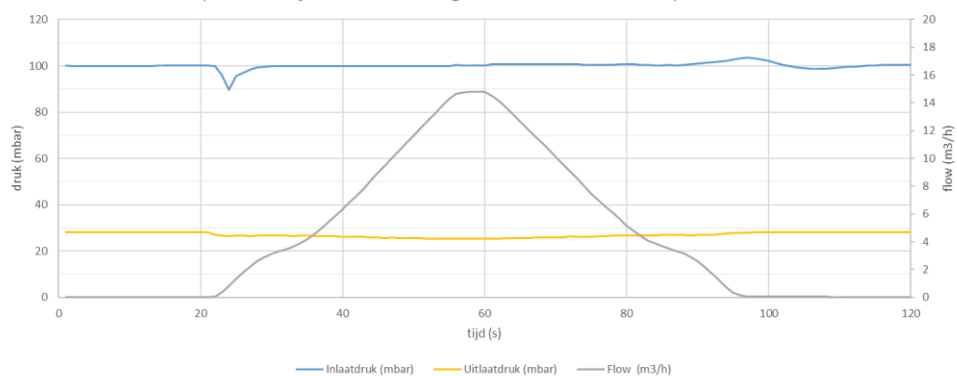
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 52 - aardgas - setpoint Pi 37,5 mbar



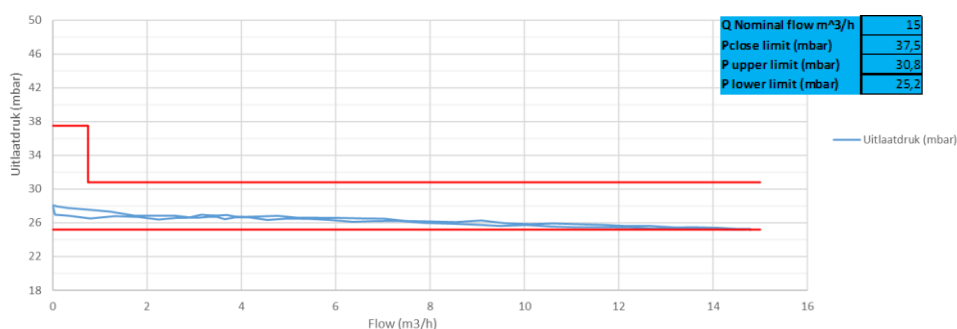
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 52 - aardgas - setpoint Pi 37,5 mbar



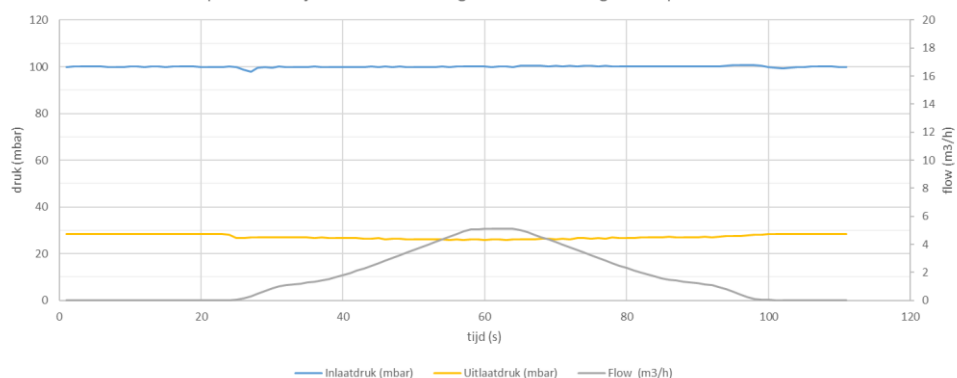
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 52 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



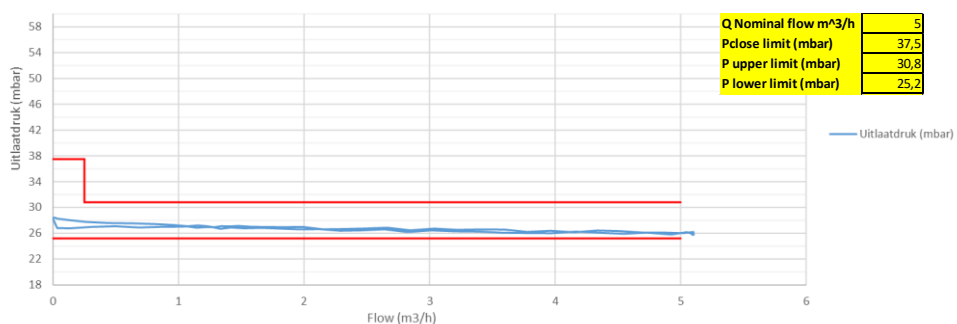
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 52 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



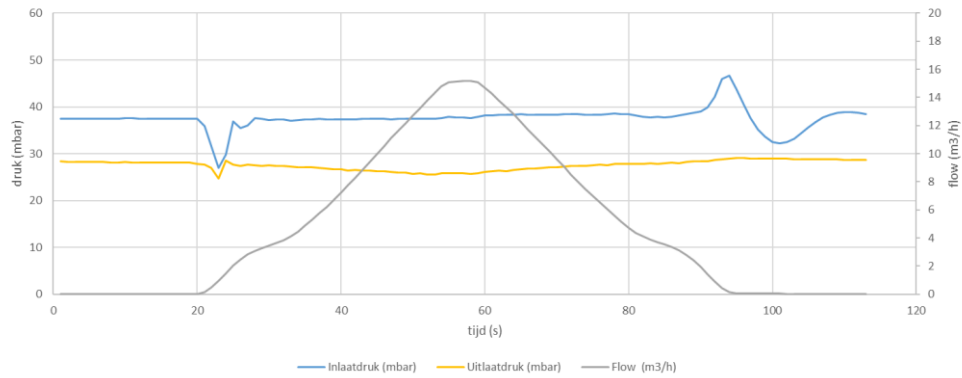
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 52 - aardgas - setpoint Pi 100 mbar



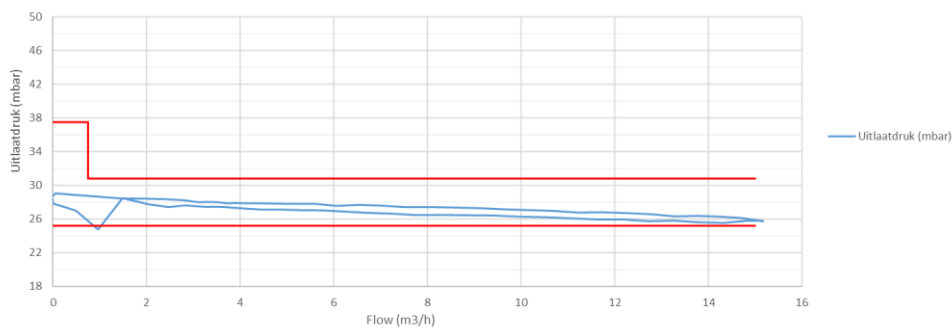
Regelkarakteristiek - regelaarnr. 52 - aardgas - setpoint Pi 100 mbar



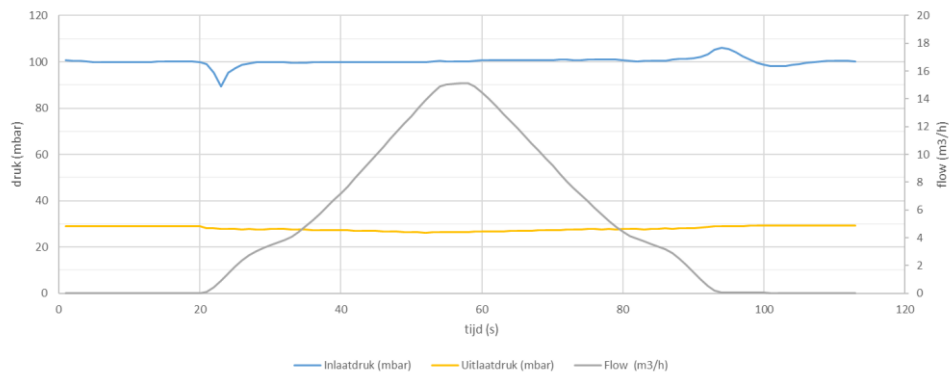
Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 53 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



Regelkarakteristiek - regelaarnr. 53 - waterstof - setpoint Pi 37,5 mbar



Verloop drukken bij variatie debiet - regelaarnr. 53 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar



Regelkarakteristiek - regelaarnr. 53 - waterstof - setpoint Pi 100 mbar

