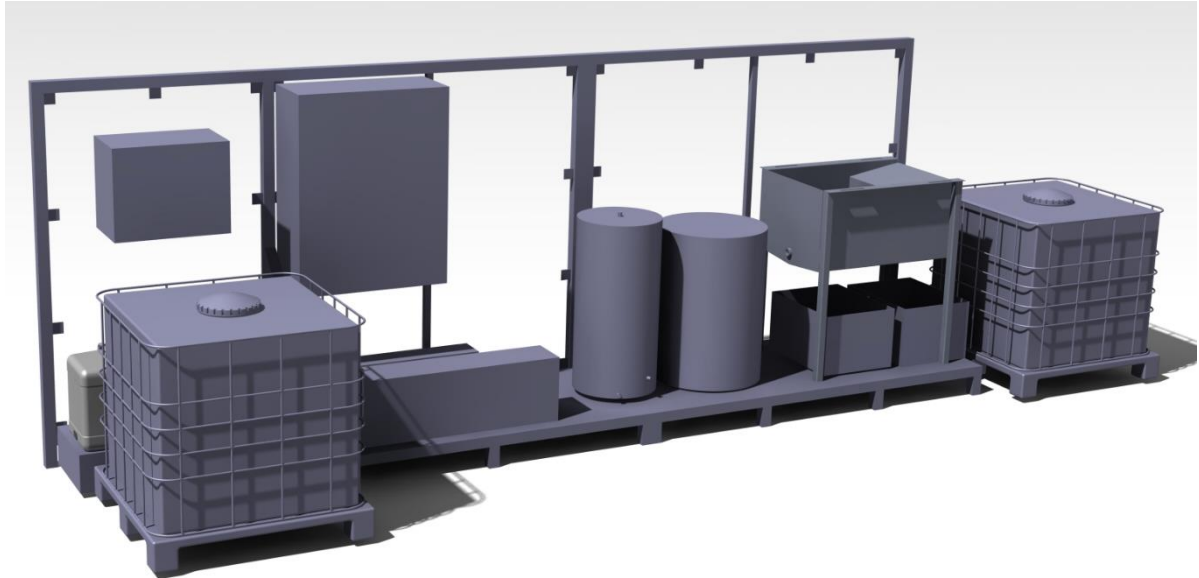




CHALMERS



Konstruktion av testrigg för vattenrening genom elektrokoagulering och kolfiltrering

En mobil testbänk för utvärdering och verifiering av
reningsprocessens effektivitet

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Lucas Jensen

Peter Nilén

INSTITUTIONEN FÖR KEMI OCH KEMITEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2025

www.chalmers.se

Konstruktion av testrigg för vattenrening genom elektrokoagulering och kolfiltrering

En testbänk för utvärdering och verifiering av
reningsprocessens effektivitet

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

LUCAS JENSEN

PETER NILÉN

Institutionen för Kemi och kemiteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2025

Konstruktion av testrigg för vattenrening genom elektrokoagulering och kolfiltrering

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

LUCAS JENSEN

PETER NILÉN

©LUCAS JENSEN & PETER NILÉN, 2025.

Institutionen för Kemi och kemiteknik

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon: +46 (0)31 -772 1000

Omslag:

Renderig av elektrokoaguleringsriggen i sin helhet med flotationstank och IBC.

Kemi och kemiteknik

Göteborg, Sverige, 2025

Förord

Detta examensarbete utgör det avslutande momentet inom Maskiningenjörsprogrammet (180 hp) vid Chalmers tekniska högskola. Arbetet har genomförts i syfte att tillämpa de kunskaper som förvärvats under utbildningen. Vi vill inleda denna rapport med att rikta ett stort tack till Mellifiq AB och våra handledare Patric Kvist för möjligheten att arbeta enligt ingenjörsmässig standard, samt för den värdefulla kunskap vi fått inom vattenreningsbranschen, en bransch som har ett stort värde för framtidens samhälle. Även ett stort tack till vår examinator Diana Bernin, docent i tillämpad kemi vid institutionen för kemi och kemiteknik vid Chalmers tekniska högskola.

Peter Nilén

Lucas Jensen

Sammanfattning

Detta examensarbete har genomförts i samarbete med Mellifiq AB och syftade till att konstruera en mobil testrigg för vattenrening med hjälp av elektrokoagulering i kombination med kolfiltrering. Projektets mål var att utveckla en flexibel testplattform i pilotskala som kan användas för att utvärdera och verifiera effektiviteten i olika reningsscenarier.

Arbetet har haft en tydlig tillämpningsfokus och utgick från företagets befintliga tekniker, där särskilt produkten Axopur, som bygger på elektrokoagulering med offeranoder, låg till grund för designen.

Genom litteraturstudier, teoretiska analyser, dimensioneringsberäkningar samt CAD-modellering togs ett komplett konstruktionsunderlag fram. Projektet omfattade även framtagning av Process Flow Diagram (PFD) och Piping & Instrumentation Diagram (P&ID), samt en detaljerad kravspecifikation med tillhörande verifieringsplan. Riggen dimensionerades för ett nominellt flöde på 500 liter per timme och försågs med automatiserade funktioner för pH-justering, drift och rengöring, styrda via en PLC (Programmable Logic Computer) med tillhörande HMI (Human Machine Interface). Även konstruktionsdimensionering med hållfasthetsberäkningar och tryckfallsanalyser genomfördes.

På grund av komponentbrist samt leveratörstider kunde riggen inte färdigställas fysiskt under projektets tidsomfattning, men det tekniska underlaget är komplett och redo att realiseras. Den utvecklade lösningen bedöms vara robust, skalbar och väl anpassad för Mellifiqs framtida behov av verifiering, försäljning och vidareutveckling av reningstekniker inom vattenbehandling.

Nyckelord: elektrokoagulering, kolfiltrering, vattenrening, PFD, P&ID.

Abstract

This bachelor thesis was carried out in collaboration with Mellifiq AB and aimed to design a mobile test rig for water purification using electrocoagulation in combination with carbon filtration. The objective was to develop a flexible pilot-scale platform to evaluate and verify the efficiency of different purification scenarios.

The project had a strong application focus and was based on Mellifiq's existing technologies, particularly the Axopur product line, which utilizes electrocoagulation with sacrificial anodes. Through literature studies, theoretical analysis, dimensioning calculations, and CAD modelling, a complete technical design was developed. The work also included the creation of a Process Flow Diagram (PFD), a Piping & Instrumentation Diagram (P&ID), and a detailed set of requirements linked to a verification plan. The rig was dimensioned for a nominal flow rate of 500 litres per hour and equipped with automated functions for pH adjustment, operation and cleaning, all controlled via a PLC (Programmable Logic Computer) system and HMI (Human Machine Interface). Structural integrity and flow dynamics were verified through pressure loss calculations and finite element analysis.

Due to supply chain delays, the physical rig could not be completed within the project timeline, but the design documentation is finished and ready for implementation. The developed solution is considered robust, scalable, and well-suited for Mellifiq's future needs in performance verification, sales demonstrations and ongoing development of water treatment technologies.

Keywords: electrocoagulation, carbon filtration, water treatment, PFD, P&ID

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Problemformulering.....	2
1.3 Syfte och mål	2
1.4 Avgränsningar.....	3
2. Metod.....	4
2.1 Etablering.....	4
2.2 Referensobjekt	4
2.3 Iteration av koncept.....	5
2.4 Konstruktion	6
2.5 Utvärdering av vinnande totalkoncept.....	6
3. Resultat	7
3.1 Kravspecifikation.....	7
3.2 Testrigg elektrokoagulering (EC)	7
3.2.1 Teoretisk analys kring elektrokoagulering.....	8
3.2.2 Tryckfallsberäkning med Bernoullis ekvation.....	9
3.2.3 Processbeskrivning och Process Flow Diagram (PFD)	12
3.2.4 Framtagande av Piping & Instrument Diagram (P&ID).....	14
3.2.5 Konstruktion	22
3.2.5.1 Iteration och grundkonstruktionsidéer	23
3.2.5.2 Modellering.....	24
3.2.5.3 Detaljkonstruktion av ramverk	27
3.2.5.4 Detaljkonstruktion av flotation	31
3.2.5.5 Komponentberäkning.....	33
3.2.5.6 Kostnads kalkyl för EC.....	38
3.2.5.7 Automation	39
3.3 Testrigg kolfiltrering.....	47

3.3.1	Teoretisk analys kring kolfiltrering	47
3.3.2	PFD - Process Flow Diagram	49
3.3.3	PID - Piping & Instrument Diagram	50
3.3.4	Konstruktion av kolfiltersystem.....	55
4.	Slutsatser.....	60
	Litteraturlösteckning	62

1. Inledning

Detta examensarbete genomförs i samarbete med Mellifiq AB och syftar till att konstruera en modulär och professionellt utformad pilotrigg för vattenrening genom elektrokoagulering och kolfiltrering. Pilotriggen ska fungera som en test- och verifieringsanläggning som möjliggör analys och rening av kunders provvatten genom flera processteg.

Målet är att skapa en flexibel lösning som dels möjliggör insamling av tillförlitliga mätdata, dels fungerar som ett visuellt och pedagogiskt verktyg för presentation av företagets teknologier inför potentiella kunder.

Projektet omfattar en praktiskt orienterad utvecklingsprocess där fokus ligger på konstruktionen av den mekaniska strukturen. Arbetet inkluderar systemförståelse, konceptutveckling, val av komponenter, flödesscheman, samt dokumentation av konstruktions- och funktionsprinciper. Riggens design kommer att präglas av nyckelbegrepp som modularitet, enkelhet, automation, effektivitet och professionalism.

Projektets resultat förväntas bidra till att stärka Mellifiqs kundrelationer samt öka förståelsen för företagets reningstekniker i verklig driftmiljö.

1.1 Bakgrund

Mellifiq AB är ett Stockholmsbaserat företag med över trettio års erfarenhet av avancerad luft- och vattenrening. Företaget tillhandahåller ett brett spektrum av tekniska lösningar inom reningsteknik genom varumärken som Ozonotech, Nodora, Saniray, Water Maid och Axopur. Ett återkommande behov hos företagets kunder är att rena olika typer av vatten för att uppfylla miljökrav eller möjliggöra återanvändning av vattenresurser.

Idag sker utvärderingen av reningsprocessernas effektivitet till stor del genom manuella tester och fristående moment, vilket försvårar både datainsamling och presentation. Dessutom är befintliga kundanläggningar inte alltid lämpliga för demonstration i marknadsföringssyfte. Därför har behovet identifierats av en komplett och modulärt uppbyggd testrigg, som kan simulera och analysera hela processkedjan i liten skala.

En sådan anläggning skulle fylla två syften: dels som ett verktyg för att samla in tekniska data från verkliga vattenprover, dels som en visuell och pedagogisk demonstrationsplattform för potentiella kunder. Genom att samla hela processen i ett och samma system, får både Mellifiq och deras kunder en bättre förståelse för hur olika tekniklösningar samverkar under verkliga förhållanden.

Det är i detta sammanhang vårt examensarbete är placerat. Projektet innebär att konstruera en pilotrigg för vattenrening, där flera olika processteg ska integreras på ett effektivt, estetiskt och användarvänligt sätt. Riggens konstruktion kommer att baseras på krav från både företaget och slutanvändare, med fokus på funktionalitet, modularitet och mätbarhet.

1.2 Problemformulering

För närvarande saknar Mellifiq en komplett anläggning där testvatten kan verifieras, samt där tester kan genomföras parallellt med kundbesök. Kunder ska få möjlighet att på plats se både processen och resultaten. Testanläggningen ska kunna hantera olika typer av testvatten, som kommer från Mellifiqs kunder. Det finns dessutom kunskapsluckor kring optimeringen av processen, där parametrar som flöden, uppehållstid och specificerade ämneskoncentrationer behöver analyseras. Således finns det ett behov av modularitet för att kunna anpassa systemet efter olika testscenarier. Vidare finns det behov av att undersöka hur Axolots elektrokoagulering kan kombineras med Mellifiqs expertis inom kolrening, för att utvärdera samverkan i vattenreningsprocessen.

1.3 Syfte och mål

Examensarbetets syfte är att utveckla en modulär testanläggning för rening av vatten. Ett flertal olika processteg kommer att ingå, som inkluderar både Mellifiqs och Axolots kompetenser inom området. Värdet med examensarbetet är att utöka kundbasen, genom att illustrera reningsprocessen med hjälp av en testanläggning. Ett ytterligare syfte med examensarbetet är att få mer kunskap inom de specifika processerna. Genom skapandet av en modulär testanläggning tillåts utförande av experiment och datainsamling. Målet blir att utveckla ett system från koncept till färdig anläggning, vilket sammanfattas i denna projektrapport.

1.4 Avgränsningar

För att säkerställa att projektet genomförs inom den givna tidsramen och med tillgängliga resurser har ett antal avgränsningar definierats. Arbetet kommer att fokusera på den mekaniska konstruktionen av pilottriggen för vattenrening. Detta inkluderar utformning av systemlayout, komponentval, uppbyggnad av ramverk samt installation av rördragning och fysiska kopplingar mellan processtegen.

Arbetet omfattar inte detaljerad programmering eller utveckling av styrsystem, även om en övergripande förståelse för automationslösningarna eftersträvas. Programmeringen förväntas genomföras av personal vid Mellifiqs Stockholmskontor, men projektgruppen kommer att ha en aktiv roll i att samverka och specificera systemets funktionella behov.

Då projektgruppen består av maskinteknikstudenter är kunskapen inom kemitekniska områden begränsad. Därför kommer detaljerade kemiska analyser av reningsprocesserna, såsom reaktionskinetik eller exakt nedbrytning av föroreningar, inte att behandlas på djupet. Den kemitekniska rådgivningen hanteras i stället av handledare och specialister inom företaget. En förenklad teoretisk förklaring på väsentliga delar inom vattenkemin kommer att analyseras i ett separat kapitel.

Den ekonomiska avgränsningen är inte detaljstyrd mer än att vara resurseffektiv och använda komponenter som finns i lager för att hålla kostnaden generellt låg.

Vidare är projektet begränsat till att leverera en fungerande fysisk rigg placerad i Mellifiqs lokaler i Landvetter. Projektet inkluderar inte långtidstester av vattenkvalitet, ekonomiska kalkyler för fullskalig kommersialisering eller produktcertifiering.

2. Metod

Projektet har genomförts med hjälp och stöd av en tydlig processkarta med åtta definierade steg, en produktutvecklingsmetod som beskrivs enligt (Lindstedt P, 2016), enligt Figur 1. För att övergripande förklara projektets delar sorteras de åtta stegen in i fem kategorier:

- Etablering
- Referensobjekt
- Iteration av koncept
- Konstruktion
- Utvärdering av totalkoncept



Figur 1 Processkarta över projektets metodik

2.1 Etablering

För att förstå vad projektet omfattar krävs att en grundlig etablering av projektet, detta genomförs med en tydlig struktur. En första projektbeskrivning (temabeskrivning) skapades för att tydliggöra omfattningen av projektet samt att ha ett projektunderlag att presentera för examinatorn. En planeringsrapport skapades efter ett godkännande av temabeskrivningen, detta för att beskriva projektet i mer detalj då information inhämtats från interna intressenter. Med hjälp av denna information kunde nu ett Gantt-schema skapas för att tydliggöra processen genom milstolpar, leveranser och beroendeställda aktiviteter genom liggande staplar i schemat. För att tydliggöra ansvarsfördelningen mellan projektdeltagarna skapades ett gruppkontrakt där förväntningar, ansvar och åtgärds punkter tydliggörs.

2.2 Referensobjekt

Mellifigs behov analyseras initialt genom ett besök vid huvudkontoret i Stockholm där en annan testtrigg finns monterad. Denna testtrigg enligt Figur 2, ozonerar ett testvatten och lärdomar dras av denna konstruktion från funktion till tillgänglighet. Detta system blir ett referenssystem för projektet.



Figur 2 Ozoneringsrigg referens

För att förstå vad testriggen ska klara av tas ett flödesschema fram, också kallat PFD (Process Flow Diagram) som förklaras ingående senare i rapporten.

2.3 Iteration av koncept

För att ta fram ett vinnande koncept med de geometriska avgränsningarna lokalen i Landvetter genomförs konceptframtagning genom:

- Analys av tidigare testriggar
- Fri idégenerering av delfunktionslösningar
- Brainwriting av helhetskoncept
- Korsbefruktning av delfunktionslösningar

Iterationen genomförs generellt i två delar, ett för PFD och en för den fysiska installationen. En funktionell kravspecifikation och en processbeskrivning skapas som nästa steg. Inom iterationen finns det tydliga avgränsningar som begränsar det totalt antalet möjliga koncept som förverkligar Mellifiqs önskemål och krav på grund av den fysiska storleken, vilka komponenter som kommer att användas och hur processkedjan ska se ut. Iterationen handlar till stor del om hur processen kan optimeras för användarvänlighet och likheten med verkliga

förutsättningar i större processanläggningar. Projektgruppen blir styrd och hjälpt i rätt riktning med stöd och assistans av företagshandledare.

2.4 Konstruktion

Konstruktionen av det valda konceptet genomförs med hjälp av en utveckling av PFD till ett Piping and Instrument Diagram (P&ID) som är en detaljerad ritning av de ingående processtekniska komponenterna. Detta skapades med draw.io, ett javabaserat gratis ritningsprogram, (Alder, 2025). Ramkonstruktionen och kolfiltersystemet skapades i CAD-programmet Catia (Dassault Systems, 2023) och flotationen skapades i CAD-programmet SolidWorks (Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, 2023). En total kostnadskalkyl upprättas tillsammans med offerter från underleverantörer för att beräkna den totala byggkostnaden innan verkställandet kan godkännas.

2.5 Utvärdering av vinnande totalkoncept

Genom att återkoppla till verifieringspunkterna från den funktionella kravspecifikationen, kontrolleras hur väl produkten uppfyller utsatta mål och krav teoretiskt. Projektet godkänns från Mellifiqs ledning och konstruktionsfasen fortsätter.

3. Resultat

Detta kapitel inleds med en sammanställning av den kravspecifikation som låg till grund för projektet och definierade ramarna för testriggens konstruktion. För att skapa en robust teoretisk grund genomfördes analyser av kolfiltrering och elektrokoagulering, vilket lade grunden för de efterföljande konstruktionsbesluten. Den slutliga utformningen av såväl kolfiltreringssystemet som elektrokoaguleringsystemet utvecklades därefter med stöd av dessa teoretiska insikter, kompletterade med hållfasthetsberäkningar, tryckfallsanalyser och CAD-modelleringar. Tillsammans utgör dessa moment resultatet av ett systematiskt konstruktionsarbete med fokus på funktion med modularitet, säkerhet och praktisk användbarhet.

3.1 Kravspecifikation

För att identifiera och dokumentera vilka krav som ställs på testriggen togs en funktionell kravspecifikation fram. Den slutgiltiga specifikationen utformades med hänsyn till komponentbegränsningar samt företags- och projektspecifika behov. Kravspecifikationen fungerar som grund för verifiering av systemet i slutskedet av projektet, där en så kallad FAT (Factory Acceptance Test) planeras genomföras. Varje krav är kopplat till tydligt definierade målvärden och verifieringsmetoder.

Specifikationen inleds med en översikt över de kravkategorier som identifierats som funktionella samt icke-funktionella. Under hela projektets gång har kravspecifikationen använts som ett levande dokument och utgjort en viktig referensram vid beslut i konstruktionsarbetet. Den fullständiga kravspecifikationen återfinns som bilaga 1 till rapporten.

3.2 Testrigg elektrokoagulering (EC)

I detta kapitel redovisas utformningen av testriggen för elektrokoagulering (EC), ett centralt processteg i det totala reningssystemet. Syftet är att beskriva hur elektrokoaguleringstekniken integreras i riggens konstruktion samt att förklara val av komponenter, flödesvägar och styrning. Kapitlet behandlar både teoretisk bakgrund, praktisk design och de överväganden som gjorts för att möjliggöra effektiv och flexibel drift vid tester i pilotskala.

3.2.1 Teoretisk analys kring elektrokoagulering

Produkten Axopur som finns i Mellifiqs produktportfölj är det kommersiella produktnamnet för vattenreningen med elektrokoagulering. För att skapa en förståelse kring hur processen övergripande fungerar samt vilka ingående komponenter och strategier som ingår för att nå en effektiv vattenrening har en vetenskaplig artikel (López-Guzmán, Flores-Hidalgo, & Reynoso-Cuevas, 2021) studerats och en tydligare bild av hur processen fungerar.

Elektrokoagulering (EC) är en vattenreningsteknik som bygger på elektrolytisk upplösning av offeranoder, vanligtvis av järn eller aluminium. När en elektrisk ström leds över elektroderna frigörs metalljoner till vattnet, vilka bildar olika koagulerande ämnen som kan neutralisera laddade partiklar, fälla ut föroreningar och skapa flockar. Dessa flockar fångar upp föroreningarna och kan sedan avlägsnas från vattnet genom sedimentering eller flotation. Tekniken är mångsidig och har visat sig effektiv för att avlägsna ett brett spektrum av föroreningar, såsom tungmetaller, oljor, färgämnen, fluorid, arsenik och läkemedelsrester. EC-processens effektivitet beror på flera faktorer, inklusive strömtäthet, elektrodmaterial, vattnets pH, temperatur, behandlingstid, elektrodplacering, elektrodernas avstånd samt vattnets ledningsförmåga.

Valet av dessa parametrar påverkar hur mycket koagulerande ämnen som bildas, gasproduktionen och bildandet av flockar. Både järn och aluminium som elektrodmaterial har visat sig fungera bra, men reaktionsmekanismerna skiljer sig något beroende på vilket material som används.

Historiskt har EC främst använts i batchprocesser i laboratoriemiljö, men intresset för att övergå till kontinuerliga processer ökar, särskilt för storskaliga och industriella tillämpningar. I dessa sammanhang blir reaktordesignen kritisk. Geometri, elektrodkonfiguration och flödesdynamik påverkar inte bara hur effektivt föroreningar tas bort, utan också energiförbrukning, slamproduktion och underhåll. CFD-simuleringar (computational fluid dynamics) används alltmer för att optimera utformningen av reaktorer, förbättra flödesfördelningen och minska död-zoner och elektrodpassivering som kan ske vid oxidering av dessa elektroder.

Slutsatsen är att elektrokoagulering är en mycket flexibel och kraftfull teknik för vattenrening. Den kan anpassas till många typer av föroreningar och vattenkvaliteter, och har potential att skalas upp för industriella tillämpningar, särskilt om reaktordesignen optimeras och processen integreras i större behandlingssystem.

3.2.2 Tryckfallsberäkning med Bernoullis ekvation

Vid konstruktion av testriggen där vätskeflöde genom rör är en central del krävs dimensionering av rörsystemet för att säkerställa önskade tryckfall, flödes hastigheter och stabil drift. För att analysera tryckförändringar längs ett rör används i första hand Bernoullis ekvation, som ger en förenklad energibalans längs en strömlinje i en inkompressibel och friktionsfri vätska.

För att kontrollera vald dimension på rören måste en flödesanalys göras. Bernoullis ekvation vid ett idealt fall beskrivs (Cengel, Cimbala, & Turner, 2017):

$$P = \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \textit{konstant}$$

Där:

P är *statiskt tryck* [Pa]

ρ är *vätskans densitet* $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

v är *flödes hastigheten* $\left[\frac{m}{s}\right]$

h är *höjd över referensnivån* [m]

g är *gravitationen*, 9,81 $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

A är *tvärsnittsarean på röret* [m²]

För ett horisontellt rör utan höjdskillnad förenklas uttrycket till:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

Detta uttryck visar sambandet mellan tryck och hastighet. Om röret smalnar av ökar hastigheten och trycket sjunker. I praktiska tillämpningar är detta viktigt för att förstå hur val av rördiameter påverkar tryck och flödesbeteende.

Rördimensionering kräver också kontinuitetsekvationen:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Denna ekvation säkerställer att massflödet är konstant i systemet, när rörets area minskar måste flödeshastigheten öka vilket i sin tur påverkar trycket enligt Bernoulli.

Tryckförluster i verkliga system har alltid friktion och förluster kopplat till komponenter (till exempel ventiler, böjar och övergångar) vilket tas i hänsyn genom att lägga till en tryckförlustterm:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \Delta P_{förlust}$$

En modell för att förklara rörförluster i ett system är Darcy Weisbach ekvationen enligt (Cengel, Cimbala, & Turner, 2017, s. 535) som ger ekvationen:

$$\Delta P_f = f * \frac{L}{D} * \frac{\rho v^2}{2}$$

Där:

f är Darcy friktionsfaktorn (beroende av Reynolds tal)

L är rörlängden [m]

D är rörets innerdiameter [m]

För att applicera detta på dimensioneringen av rördiametern på testriggen måste antaganden göras:

- Flödet är bestämt från reaktordesignen till 500 liter per timme
- Acceptabelt tryckfall är 0,5 meter som motsvarar ca 5000 Pa
- Den totala rörlängden är 20 meter
- Överslag på samtliga övergångar motsvarande 40 stycken 90° böjar
- Höjdskillnaden är försumbar
- Vattnet har en temperatur på 20°C
- Rörens inre diameter är 27,2 mm (DN25 är storleken på rör som ska kontrolleras)

Flödehastigheten v , beskrivs:

$$v = \frac{Q}{A}$$

Volymflödet Q , beskrivs:

$$Q = 500 \frac{l}{h} = \frac{0,5 \text{ m}^3}{3600 \text{ sekund}} = 0,0001388 \frac{\text{m}^3}{s}$$

Rörets area A , beskrivs:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \pi * \frac{(27,2 * 10^{-3})^2}{4} = 0,0005811 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0,0001388}{0,0005811} = 0,239 \text{ m/s}$$

Reynolds (Re) tal behöver bestämmas genom:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

Där μ är viskositeten i $\left[\frac{Pa}{s}\right]$

Från tabell: Vatten vid 20°C, $\mu = 1,002 * 10^{-3} \left[\frac{Pa}{s}\right]$

Från tabell: Vatten vid 20°C, $\rho = 998 \left[\frac{kg}{m^3}\right]$

$$Re = 998 * 0,239 * 27,2 * \frac{10^{-3}}{1,002 * 10^{-3}} = 6475 \approx 6500$$

$Re \geq 4000$ är ett turbulent flöde

För att identifiera Darcy-friktionsfaktorn används ett Moody diagram för släta rör enligt (Cengel, Cimbala, & Turner, 2017) och skrovligheten, ε , är noll då röret anses slätt på insidan. Det ger att $\frac{\varepsilon}{D} = 0$ med ett Reynoldstal på 6500 och kurvan "smooth pipes" kan följs enligt (Cengel, Cimbala, & Turner, 2017, s. 1011). Detta ger en Darcy faktor på $f = 0,035$. Tryckförlusten på grund av rörfriktion ges enligt:

$$\Delta P_{f,rör} = f * \frac{L}{D} * \frac{\rho v^2}{2}$$

$$\Delta P_{f,rör} = 0,0035 * \frac{20}{27,3 * 10^{-3}} * 998 * \frac{0,239^2}{2} = 730 \text{ Pa}$$

För att bestämma tryckfallet om de 40 böjarna behövs ytterligare en formel för detta, enligt (Cengel, Cimbala, & Turner, 2017, ss. 550–553):

$$\Delta P_{f,böj} = K_{loss} * \frac{\rho v^2}{2}$$

Där K_{loss} tas från tabell: $K_{loss} = 0,75$ per 90° böj

$$K_{loss,total} = 40 * 0,75 = 30$$

$$\Delta P_{f,böjar} = 30 * 998 * \frac{0,239^2}{2} = 855 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{f,rör} + \Delta P_{f,böjar} = 730 + 855 = 1585 \text{ Pa}$$

Med dessa förenklingar och antagande gällande den totala trycksänkningen är det ett acceptabelt differenstryck på 1585 Pascal med en inre rördimension på 27,3 mm.

3.2.3 Processbeskrivning och Process Flow Diagram (PFD)

För att på ett strukturerat sätt fortsätta arbetet med att bygga upp processkedjan skapades ett flödesschema i Excel. Syftet var att identifiera och visualisera vilka huvudsteg som måste ingå för att uppnå en fullständig reningsprocess. Processkedjan är uppdelad i flera delmoment som följer den ordning ett skarpt test förväntas genomföras i. Dessa steg är:

- pH justering
- Drift
- Spolning
- Clean in place (CIP)

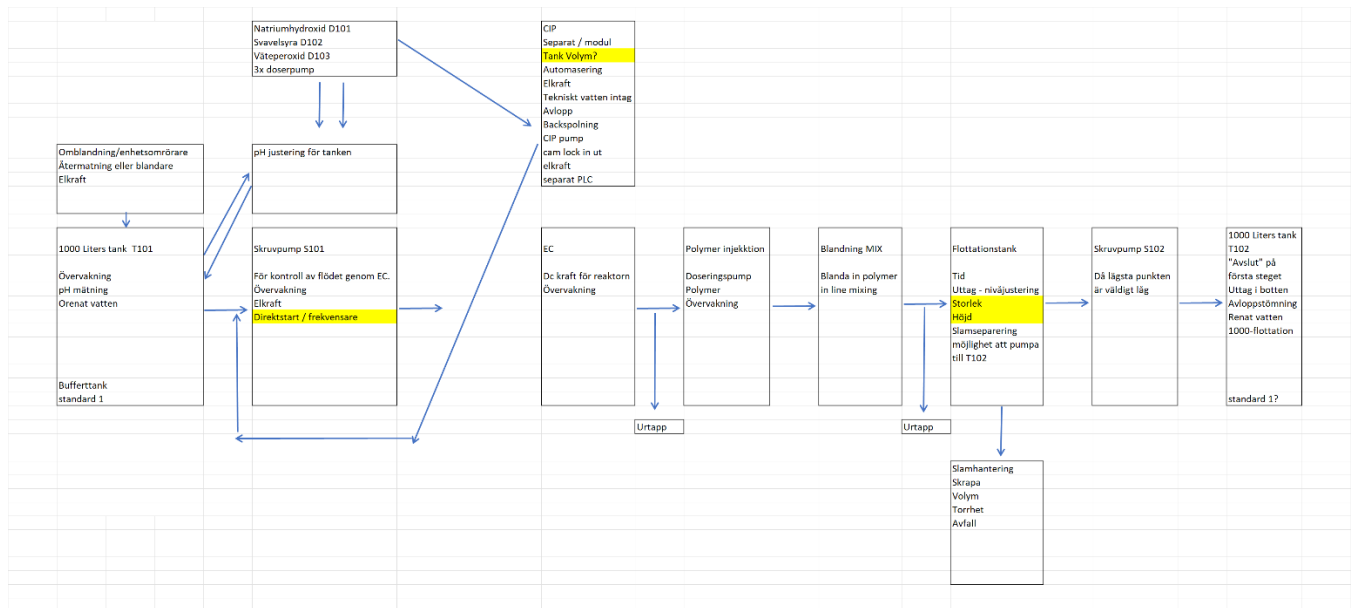
Efter ett inledande laborietest av det aktuella förorenade vattnet har en optimal pH-nivå identifierats. Om vattnets pH inte stämmer överens med det som fastställts i laboriet, måste detta justeras innan reningsprocessen kan inledas. pH-justeringen sker automatiserat genom inblandning av utspädd svavelsyra (för sänkning av pH) eller utspädd natriumhydroxid (för höjning av pH). Då pH är uppmätt till rätt nivå är det dags för nästa steg.

Driften är det steg som aktivt renar vattnet och förflyttar det från en tank till en annan. De övergripande stegen är pumpning in i reaktorn, polymerinjektion, flotation och slamhantering. Reaktorn som är försedd med aluminiumanoder eller järnanoder, valet baseras på tidigare tester, startar reaktionen och flockningen börjar formas. För att förstora flockarna tillsätts en polymer efter reaktorns utlopp. Polymeren doseras med en programvarustyrad doserpump och blandas in via en statisk mixer. Den blandning som nu innehåller flockar, polymer och de gasbubblor som bildats under elektrolysen leds till en öppen flotations och separationstank. Här stiger flockarna till ytan som skum (slam), vilket mekaniskt avskiljs genom ytskrapning. Det renade vattnet rinner därefter vidare till en pumptank och pumpas därefter till slutförvaringstanken.

När den driften är genomförd är det väsentligt att spola rent reaktorn med vatten för att inte låta det orenade vattnet ligga kvar i reaktorn, för att minimera skador. Detta görs genom att spola vatten baklänges direkt efter driften är klar.

När systemet är spolat både framlänges och baklänges enligt den programkod som är definierad bör systemet rengöras mer noggrant. Detta görs med en automatiserad standardiserad rengöringsprocess kallad Clean In Place (CIP) enligt (Chen, A. Ekama, van Loosdrecht, & Brdjanovic, 2020). Systemet spolas med en CIP vätska vald för den rengöring som erfordras. CIP vätskan ska blandas med hjälp av de två tidigare nämnda kemikalierna, natriumhydroxid eller svavelsyra, nu även väteperoxid som oxidationsmedel. Dessa kemikalier används var för sig beroende på vilken typ av rengöring som efterfrågas.

För att integrera och visualisera samtliga steg i reningsprocessen har ett Process Flow Diagram (PFD) tagits fram i Excel. Denna översikt fungerar som grund för vidare konstruktion och styrning av systemet, och återges i Figur 3.



Figur 3. Process flow diagram

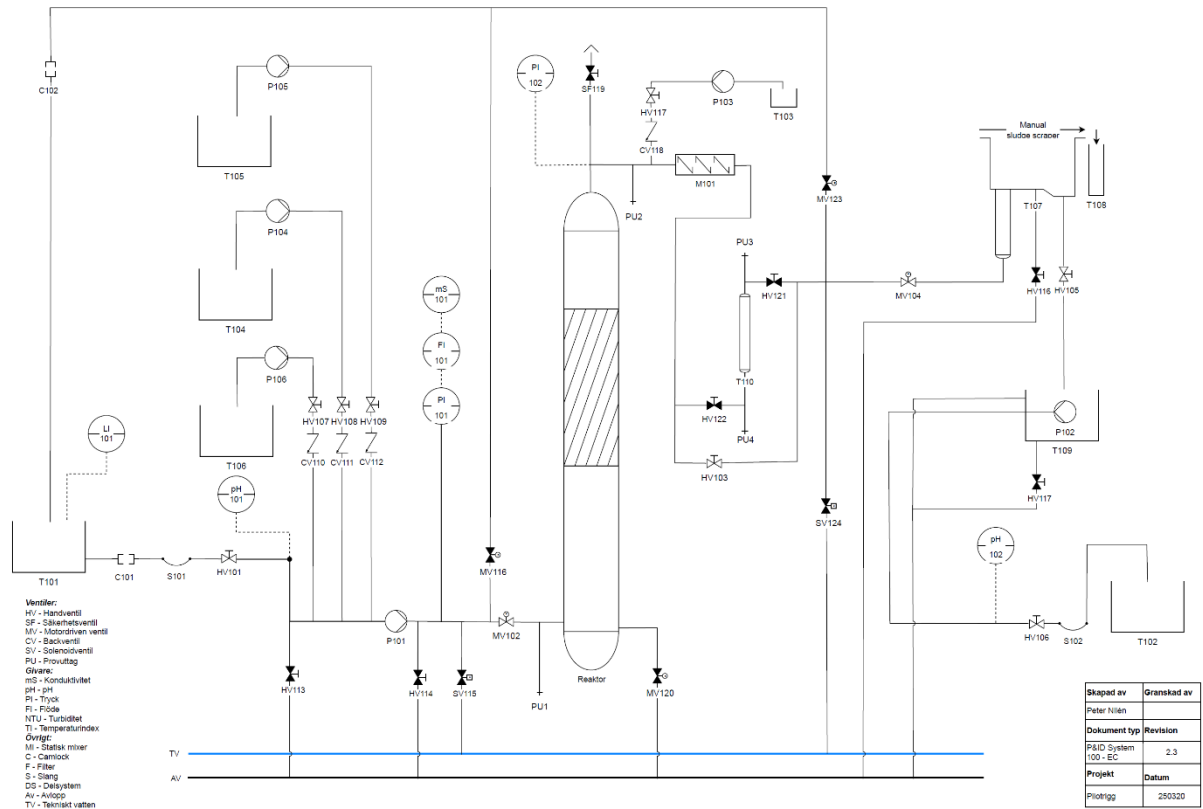
Genom denna PFD och tillika en kravlista finns grunden för att börja lägga upp planen för att effektivt koppla och styra processkedjan.

3.2.4 Framtagande av Piping & Instrument Diagram (P&ID)

Övergången från ett Process Flow Diagram (PFD), som ger en övergripande översikt av processen, till ett mer detaljerat Piping and Instrumentation Diagram (P&ID) kräver fördjupad analys och noggrann planering. I denna fas måste samtliga funktionskrav från PFD integreras, samtidigt som hänsyn tas till säkerhetsaspekter såsom tryckökningar, temperaturvariationer och systemkritiska komponenter.

För att säkerställa att inga delar förbises sker nedbrytningen av systemet enligt tre huvudprinciper: funktion, säkerhet och optimering. Vid utformningen av P&ID har projektet följt industristandard enligt ISO 10628-1:2014 (iso.org, 2014), vilket säkerställer enhetlig struktur och symbolik i ritningarna.

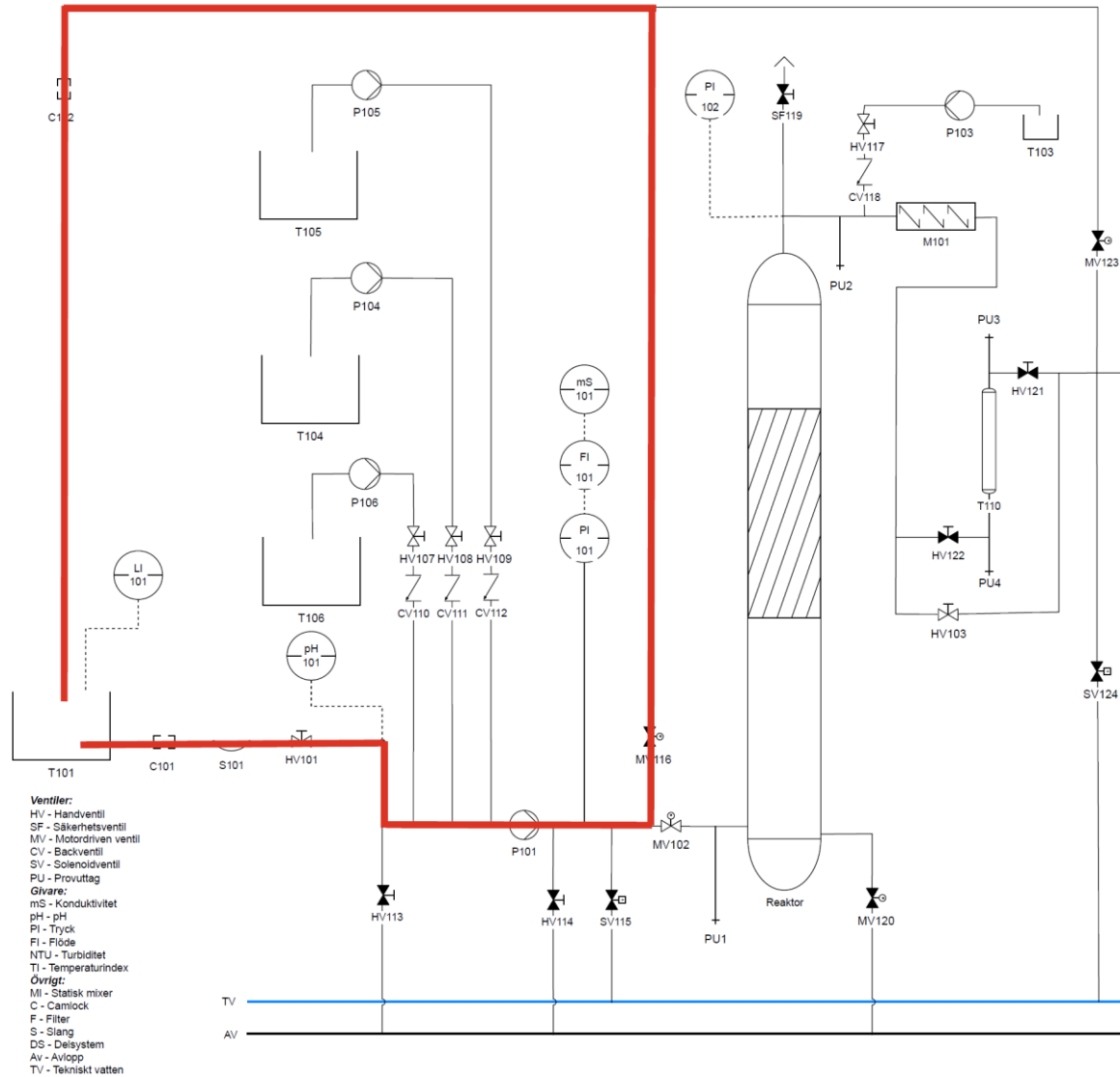
Efter flertalet iterationer och diskussioner kring komponentval – särskilt med avseende på ventiltyper och deras placering har ett komplett P&ID tagits fram. Detta schema ligger till grund för konstruktionen av den mekaniska riggens ramverk och återges nedan i Figur 4, med tillhörande förklaringar.



Figur 4 P&ID EC version 2.3 (Alder, 2025)

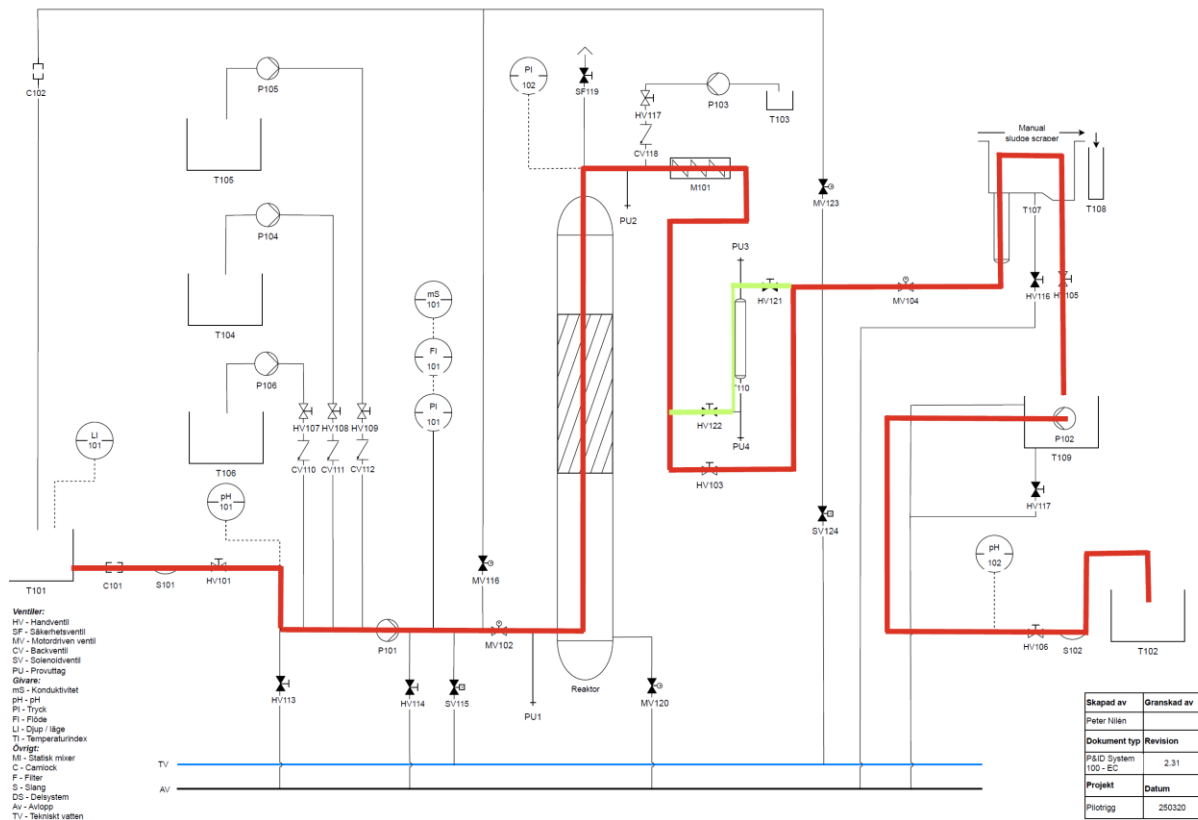
Den fullständiga versionen av P&ID återfinns i bilaga 2 för en mer detaljerad översikt. I denna slutliga version framgår samtliga processvägar och flödesriktningar, vilka är beroende av ställdonens aktuella positioner. I Figur 6 nedan illustreras systemets driftläge, där ventiler markerade utan svart fyllning är öppna och därmed tillåter genomströmning i respektive sektion.

Det första processteget i systemet är pH-justering, vilket visualiseras enligt Figur 5.



Figur 5 P&ID version 2.31 pH justering (Alder, 2025)

I det inledande steget cirkulerar vattnet i tank T101 med hjälp av pump P101. Under denna fas är den motorstyrda ventilen MV102 stängd, medan MV116 är öppen, vilket styr flödet i rätt riktning för pH-justering. För kontinuerlig övervakning av pH-nivån är instrumentet pH101 placerat vid inloppet till P101, strax före injektionspunkterna där natriumhydroxid (från tank T104) och svavelsyra (från tank T105) tillsätts. pH-regleringen sker automatiskt och fortsätter tills det förinställda gränsvärdet i PLC-systemet har uppnåtts.

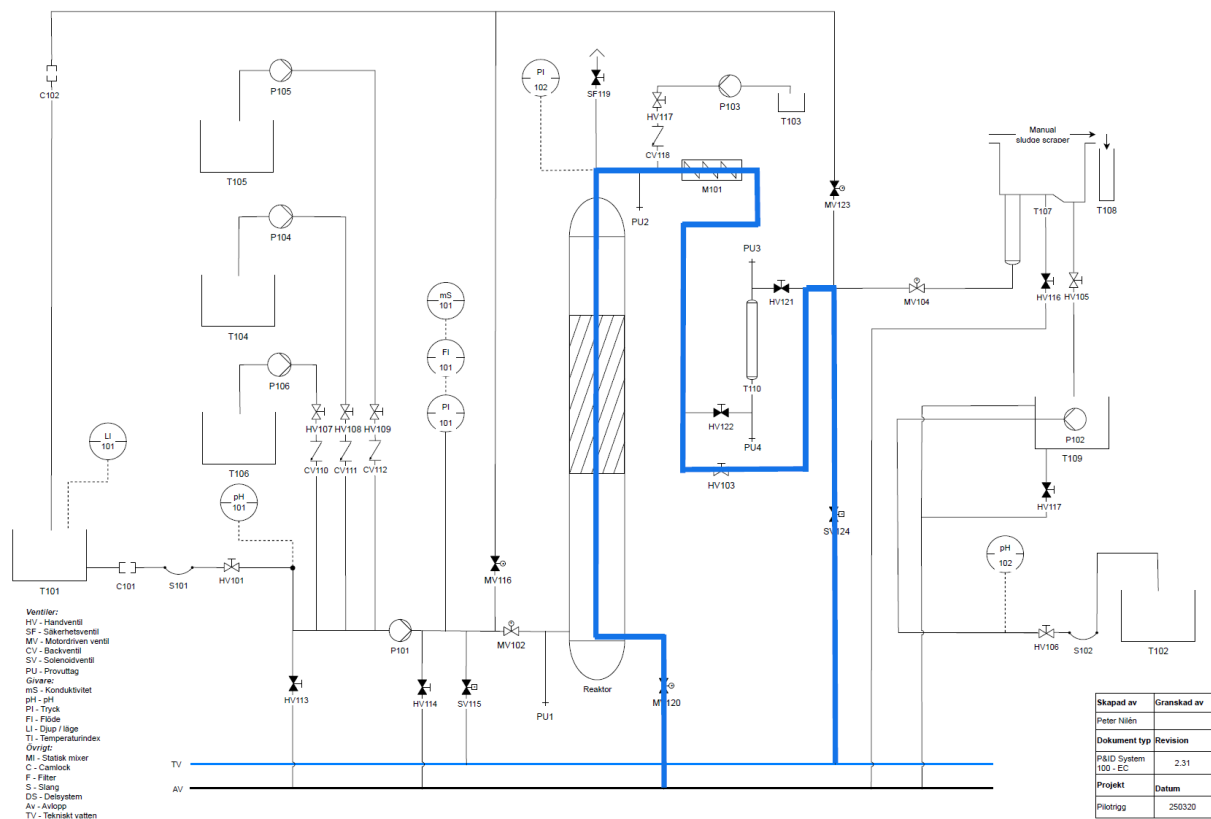


Figur 6 P&ID version 2.31 Drift (Alder, 2025)

Till skillnad från pH-justeringen är MV116 nu stängd, medan MV102 är öppen för att möjliggöra att vattnet strömmar in i reaktorn. Vid reaktorns utlopp injiceras polymeren från T103, som blandas i den statiska mixern M101. Efter mixern finns två alternativ för vattnets fortsatta väg: antingen via rör till flotationen, T107, eller via provtagningscellen, T110, där flocken kan observeras, eftersom T110 är genomskinlig.

Provtag 3 och 4 är installerade för att ta prover samt avlufta provcellen. Vattnet fortsätter sedan genom systemet och MV104 är öppen för att pumpa vattnet vidare till flotationen. I flotationen får vattnet en flödesberoende uppehållstid som hjälper flocken att stiga upp till ytan, varpå slam kan skrapas bort. När vattnet lämnar flotationen transporteras det till en pumptank, T109, eftersom självfall inte är möjligt till T102. P102 pumpar sedan vattnet vidare från pumptanken till slutet av processkedjan, T102.

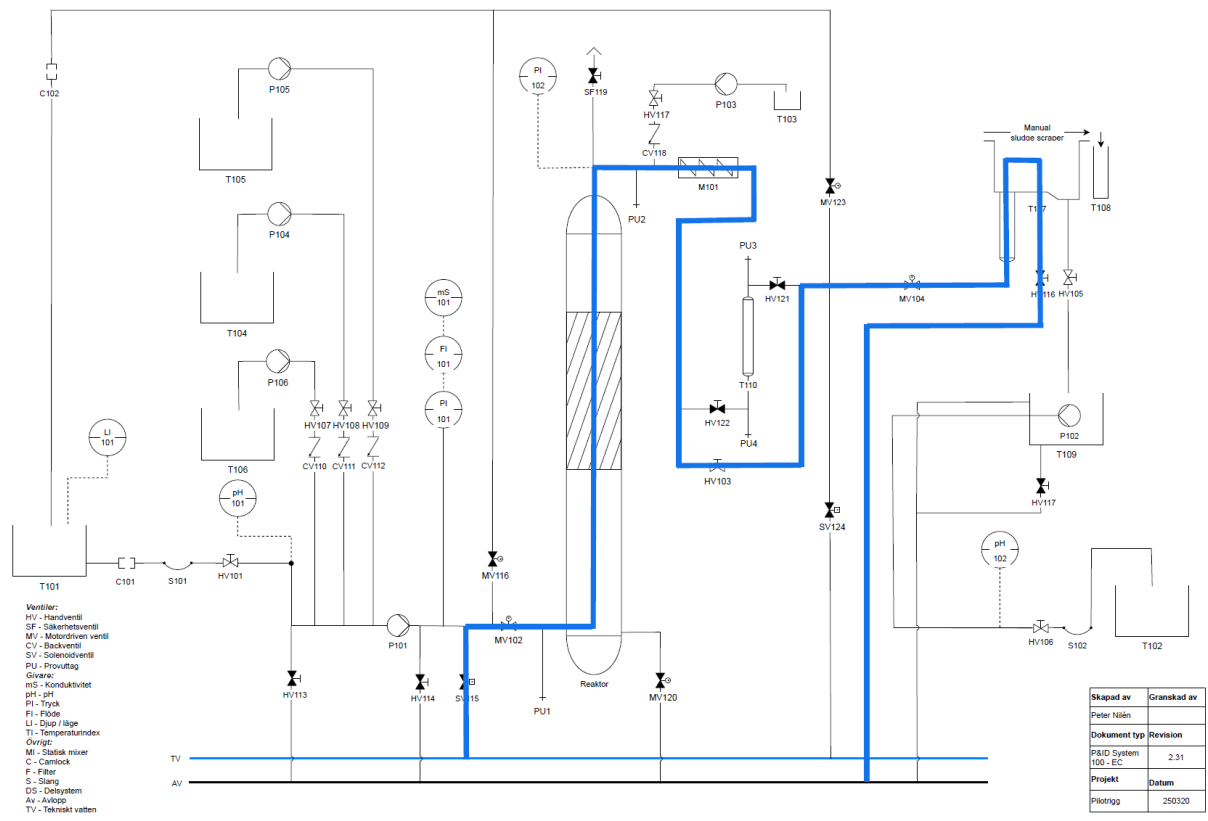
Nästa steg i processen är integreringen av spolning, eller snarare backspolning. Detta sker med hjälp av vattentrycket från det tekniska vattnet (TV), det vill säga vatten från ett vattenutkast i fastigheten. Flödet för backspolning visas nedan i Figur 7.



Figur 7 P&ID version 2.31 Backspolning (Alder, 2025)

Flödet startar vid det tekniska vattnet (TV), och solenoidventilen (SV) SV124 öppnas när MV104 och MV123 är stängda. Vid inloppet till reaktorn är MV102 stängd, medan MV120 fungerar som dräneringsventil på reaktorn. Under denna process backspolas reaktorn till avloppet (AV). Eftersom backspolning är ett högre prioriterat moment än spolning i flödesriktningen, kan detta styras via PLC. Om spolning i flödesriktningen önskas, krävs det att två ventiler ställs manuellt i rätt läge innan PLC-systemet kan köra programmet.

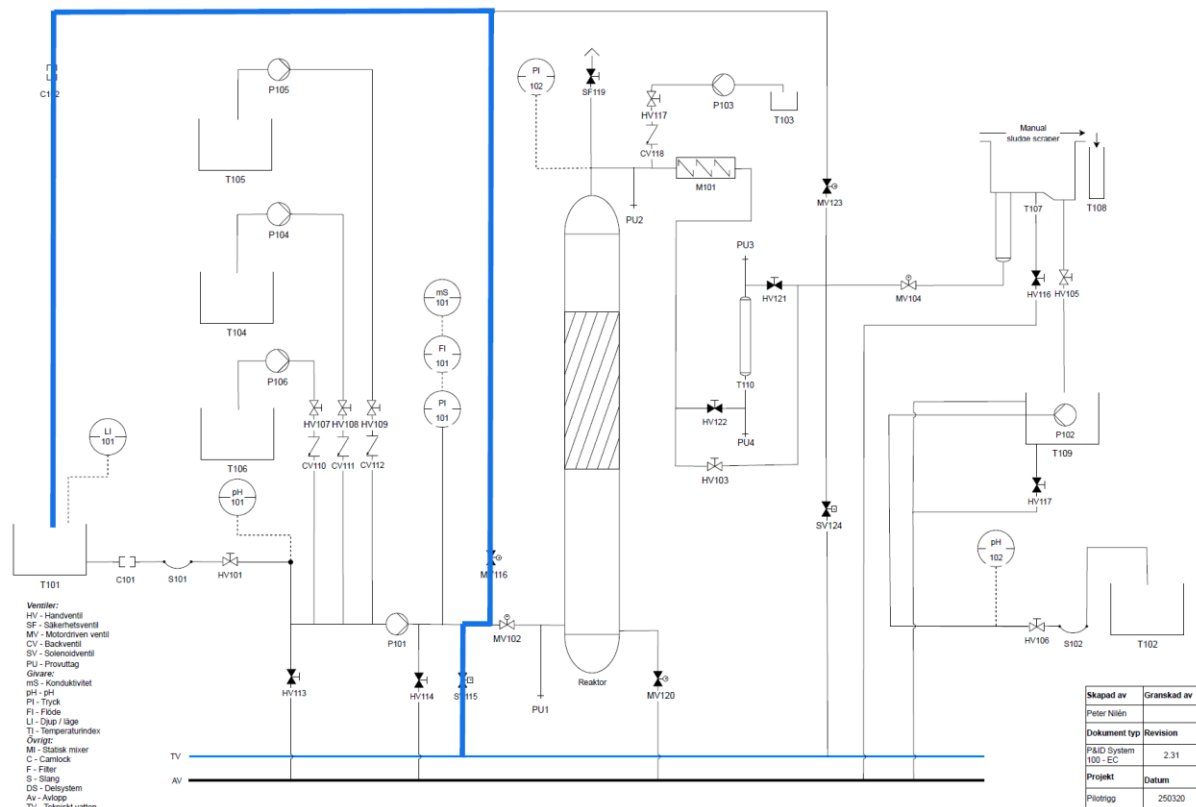
Flödet för spolning i flödesriktningen visas i Figur 8 nedan.



Figur 8 P&ID version 2.31 Framspolning (Alder, 2025)

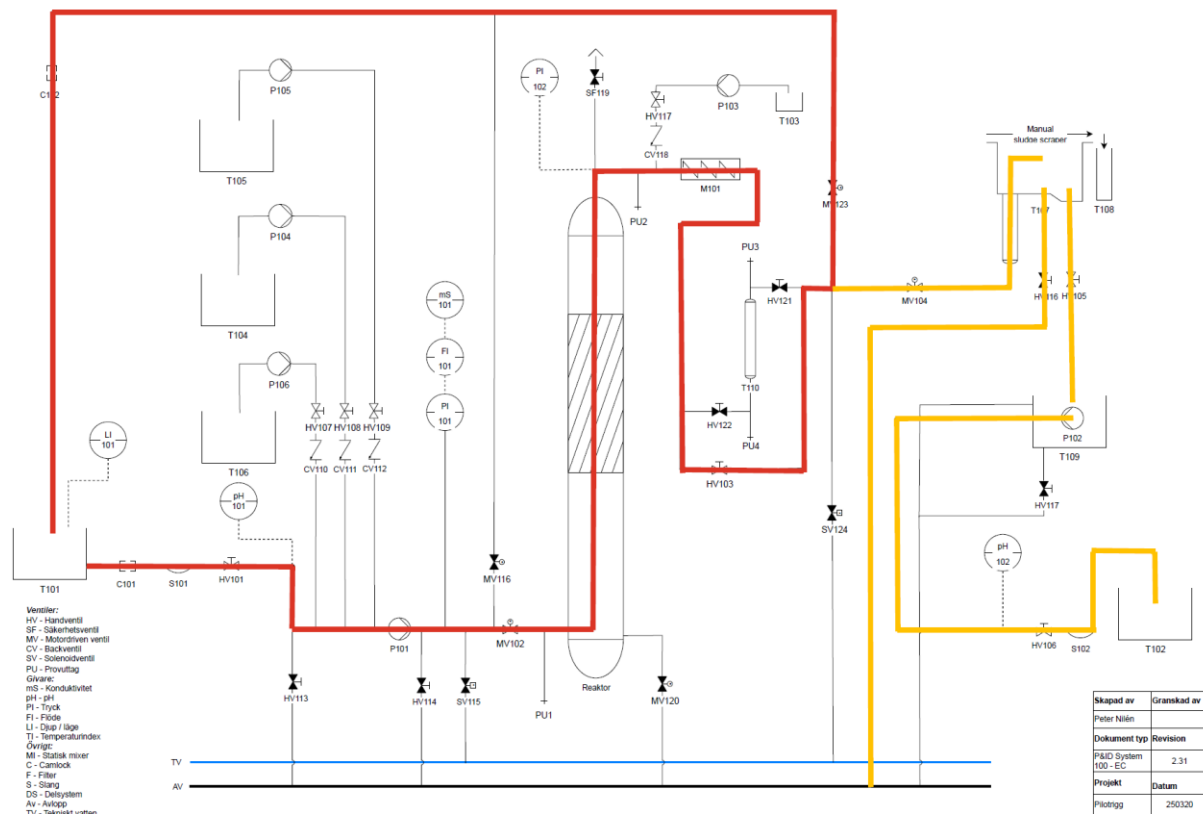
Spolningen genomförs genom att öppna SV115 när MV116 och MV120 är stängda. Vattnet flödar genom reaktorn och den statiska mixern, medan MV123 hålls stängd och MV104 är öppen, vilket gör att vattnet spolas in i flotationen. I botten av flotationen finns en dräneringsventil, HV116, som ska vara öppen, medan HV105 ska vara stängd. Detta möjliggör att vattnet spolas genom reaktorn och leds till avloppet.

Det sista processteget är CIP (Cleaning In Place), som delas upp i tre delar: blandning, cirkulation och tömning. Under det första blandningssteget fylls T101 med vatten till önskad nivå med vatten, vilket illustreras i Figur 9 nedan.



Figur 9 P&ID version 2.32 CIP steg: fyllnad (Alder, 2025)

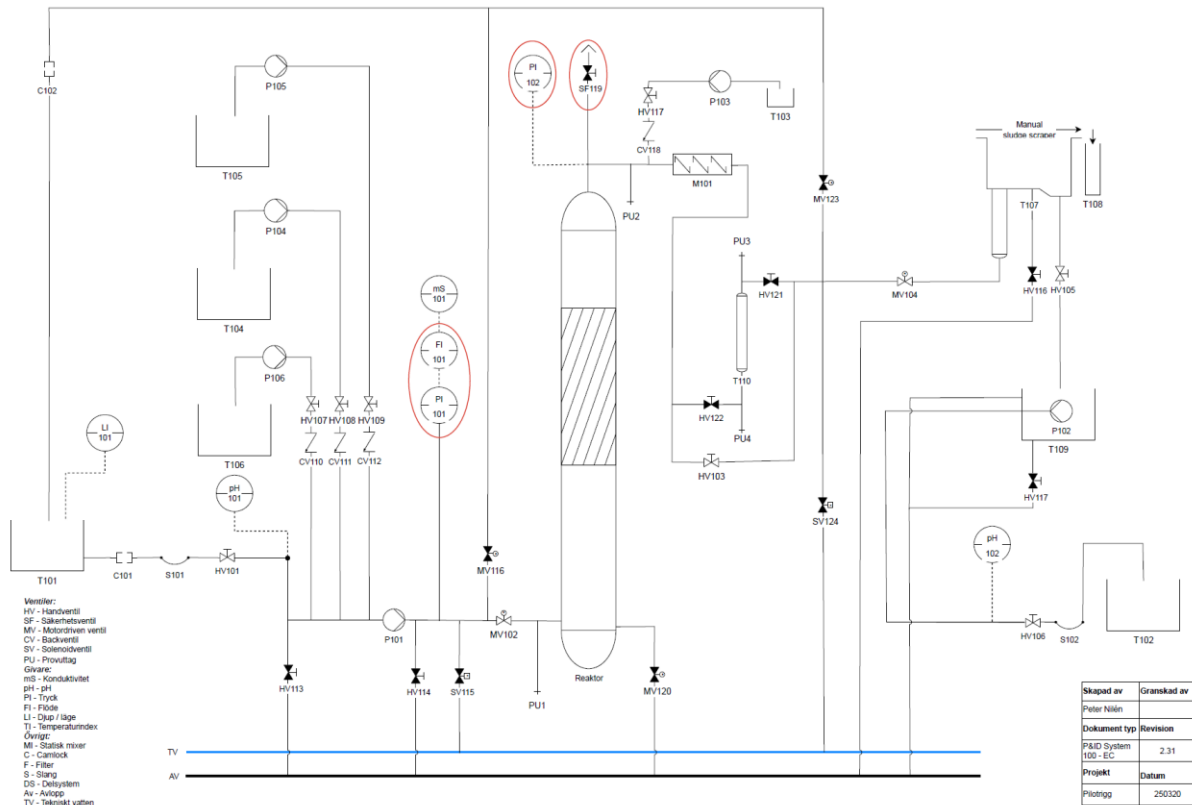
För att fylla upp T101 till önskad volym som kontrolleras av djupmätaren (LI) LI101 ska MV102 och MV123 vara stängda samt MV102 öppen. När nu vattenvolymen är bestämd är det dags att blanda in vilken del i CIP steget som ska användas, syra, lut eller väteperoxid. Detta görs precis som förklarar vid pH justeringen, men i stället för att balansera pH injiceras nu en bestämd mängd vätska. Nästa steg är att cirkulera CIP vätskan, detta enligt Figur 10 nedan.



Figur 10 P&ID version 2.32 CIP cirkulation, tömning och tanktömning (Alder, 2025)

Den röda vägen representerar den rena cirkulationen från T101 tillbaka till T101. Detta kan genomföras helt automatiserat genom att MV102 hålls öppen och MV116 stängs. Efter reaktorn måste MV104 vara stängd och MV123 öppen. De två gula vägarna används för att antingen tömma CIP-vätskan till avloppet eller pumpa den vidare till T102, vilket illustreras i Figur 10. För att styra vätskan till rätt väg öppnas eller stängs HV116 och HV105, beroende på vilken väg som ska användas.

Den sista delen handlar om säkerhetsrelaterade komponenter och konstruktionslösningar. Eftersom en pump används för att pumpa vätska genom systemet finns risken för oönskade tryckhöjningar, vilket måste förebyggas. Figur 11 nedan visar de kritiska säkerhetskomponenterna, som är inringade med röd färg.



Figur 11 version 2.31 P&ID Säkerhetskomponenter (Alder, 2025)

FI101 (flödesindikator) tillsammans med PI101 och P102 skapar en återkoppling till PLC:n, vilket gör att säkerhetsfunktionen i programmet stoppar pumpen om trycket blir för högt eller om flödet avviker från de förbestämda parametrarna. SF119 är en övertrycksventil som automatiskt släpper ut trycket om det överstiger ett förinställt värde. Den fungerar som en mekanisk säkerhetsventil om PLC:n inte skulle hinna stoppa pumpen i tid. SF119 är inställd på ett högre säkerhetstryck än det som är definierat i programmet, för att skapa en hierarkisk struktur och redundans inom systemet.

3.2.5 Konstruktion

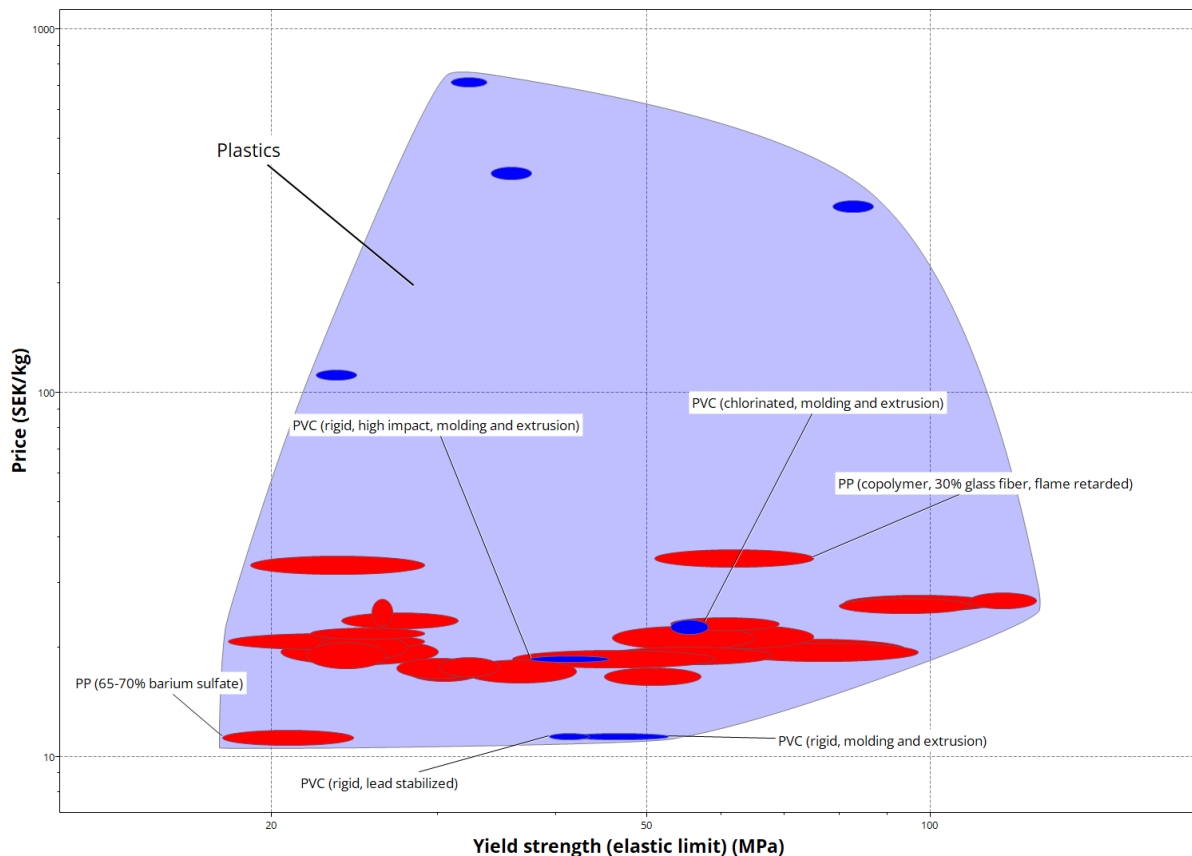
För att genomföra den kompletta konstruktionen baserat på tidigare P&ID krävs ytterligare iterationer av grundkonstruktionskoncept där materialval och montage beaktas. Vidare modelleras konceptet med hjälp av CAD (Dassault Systems, 2023) där den fysiska dimensionen verifieras. Därefter detaljkonstrueras ramverket för tillverkning. Flotationen är en komponent som är projektspecifik och konstrueras för att uppfylla kraven på uppehållstid för vattnet. För att sammanbinda alla komponenter skapas en komponentlista med tillhörande

ekonomiska kalkyl. Slutligen presenteras kort hur processen kan styras genom användargränssnittet kopplat till PLC:n.

3.2.5.1 Iteration och grundkonstruktionsidéer

Vägen till det slutgiltiga P&ID schemat var inte direkt och det krävdes flera iterationer för att uppnå en helhetsförståelse av systemets funktion. Tillsammans med projektgruppens handläggare besöktes Mellifiqs huvudkontor i Stockholm under en vecka, där en annan testrigg är konstruerad och installerad. Testriggen är huvudsakligen designad för att analysera verkningsgraden och renligheten hos provvatten efter cirkulationsozoner. Eftersom projektet inte kommer att fokusera på ozonets reningsfunktion, kommer reningsprocessen inte att behandlas i detalj i denna rapport.

Mellifiq har stor erfarenhet kring rening genom ozonering och har byggt många större industriella system, studerades konstruktionsprinciper och val av material primärt. Materialet för rör och ventiler som Mellifiq använder är i huvudsak PVC-U (Poly Vinyl Chloride - Unplastized) som är en oplasticerad PVC (GODWIN, 2000). "Oplasticerad" betyder att ett material inte har tillsatts någon mjukgörare (plasticizer). Det innebär att materialet är stelare, mindre flexibelt och ofta hårdare än en plast med tillsatt mjukgörare. Enligt (Ansys, 2023) har PVC väldigt goda korrosionsskyddande egenskaper mot både basiska och sura kemikalier, vilket är förväntat och ett krav. Eftersom det är en polymer är glastemperaturen intressant så att systemet inte utsätts för förstörande temperaturer. Glastemperaturen för PVC-U ligger på 80° C, vilken inte bör överstigas för att förhindra deformation. Tidigare har EC konstruktionerna varit konstruerade av materialet PP (Polypropylene) men kommer inte längre vara det, endast reaktorn i sig. Prisbilden mot sträckgränsen för berörda material visas nedan enligt Figur 12, där materialet PVC-U är PVC (rigid, high impact, molding and extrusion).



Figur 12 Selektion från Granta EduPack (Ansys, 2023)

Den fysiska allokeringen på testtriggen i Stockholm sitter fast monterad på en vägg med ett ramverk av rostfritt stål, ramen är beklädd med en formplywood för att motstå frukt. Konstruktionen för testtriggen inom detta projekt kommer att anta liknande konstruktion dock inte fast monterad då krav om mobilitet finns.

3.2.5.2 Modellerings

När den slutgiltiga P&ID ritningen var godkänd av Mellifq blev nästa steg att specificera detaljerna kring denna. Den parameter som begränsar och styr mycket av komponenterna är flödes hastigheten av vattnet på testet.

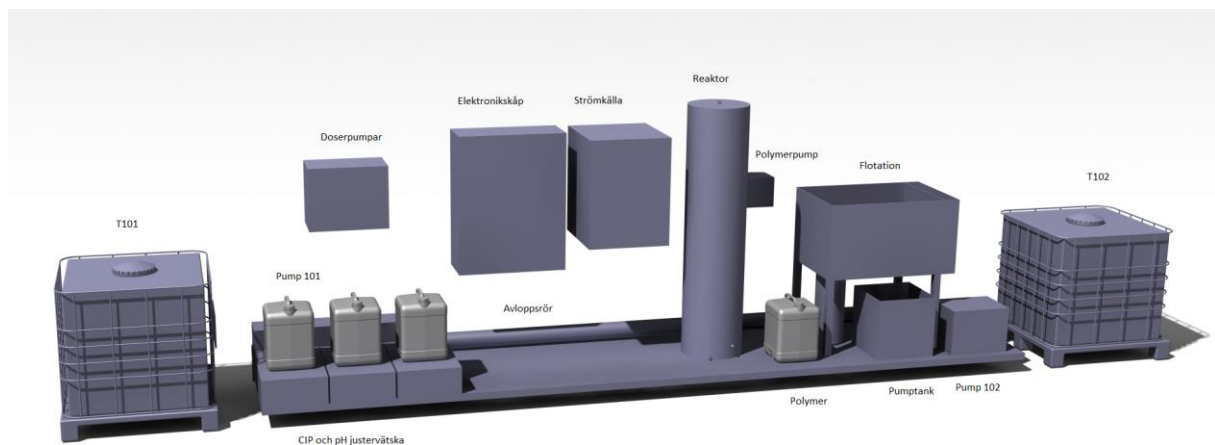
Flödes hastigheten bestämdes till 500 liter per timme för att testtriggen ska vara skalbar till större installationer. Testvolymen som kommer att användas för testet är en IBC (Intermediate Bulk Container), en standardiserad tank med 1000 liters volym, denna kommer att illustreras senare.

Reaktorn avsedd för projektet är en Mellifq (Axopur) specifik produkt har ett nominellt flöde på 500 liter per timme som kan ökas till 1000 liter per timme. Detta lägger grunden för

dimensionerna på flotationstanken då en uppehållstid i flotationen ska vara 10 min. Pump P101 kommer således behöva ha ett justerbart flöde mellan 500 och 1000 liter per timme. Vid kontroll fanns det en skrupump på Mellifiqs lager som uppfyller dessa krav, om den kopplas till en frekvensomriktare. Polymertanken, T103, tillsammans med polymerpumpen P103 finns också på lager och dimensionerna kan tas. Polymerpumpen är relativt stor då det också är en skrupump likt P101, men har ett väldigt kontrollerbart flöde när den kopplas till en frekvensomriktare.

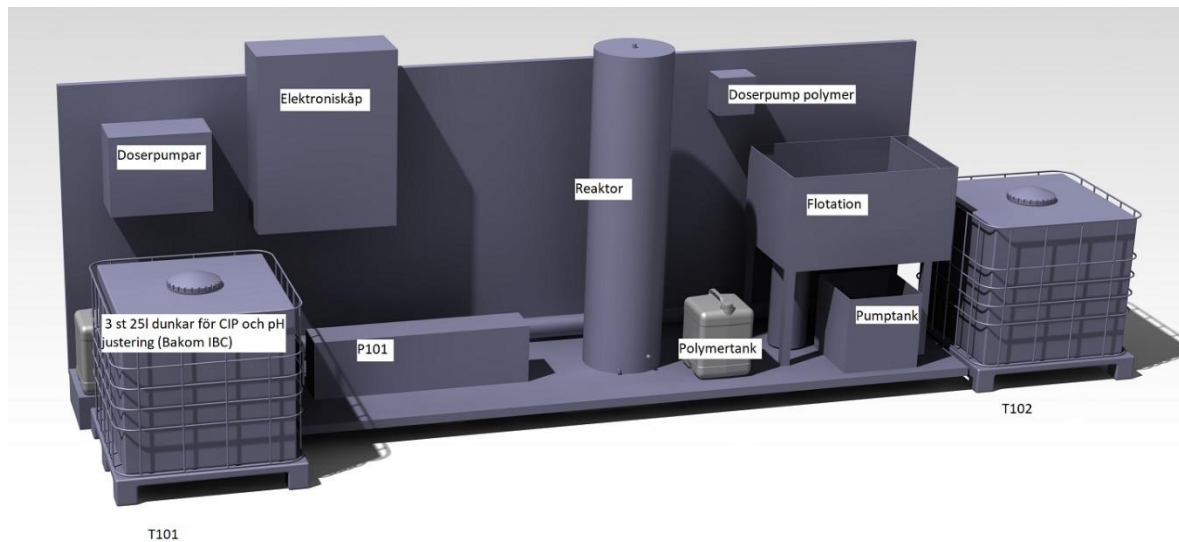
Med dessa förutsättningar skapades modeller i CAD för att börja se hur de kunde placeras för att uppnå önskat resultat. Den fysiska platsbegränsningen där testriggen förväntas monteras har också begränsningar som speglar modelleringen då testriggen förväntas vara monterad vid en vägg i Landvetter. Ytan som avses är 8 meter lång, 2 meter djup och 2 meter hög.

Resultatet efter den initiala modelleringen och placering i CAD visas enligt Figur 13 nedan.



Figur 13 Iteration 1 av testriggen (Dassault Systems, 2023)

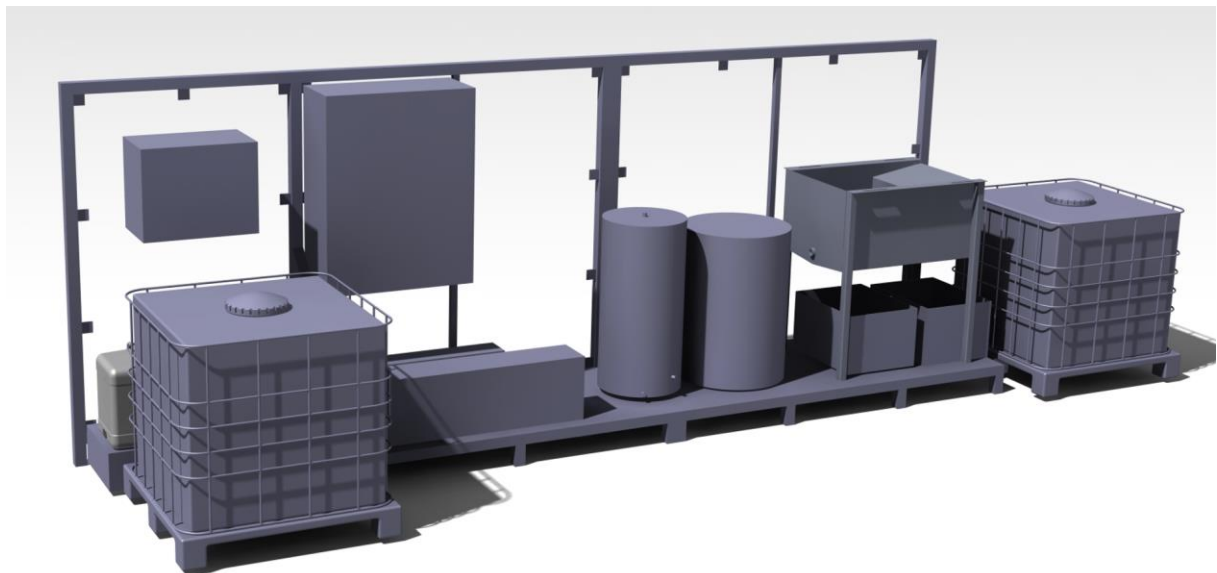
Eftersom P&ID schemat har många iterationer innan det slutgiltiga resultatet uppnåddes, har denna modellering likaså många iterationer. Vad Figur 13 visar finns delar som inte finns på den slutgiltiga modellen. Nedan visas även iteration 2 enligt Figur 14 som har den generella utformningen som slutresultatet.



Figur 14 Iteration 2 av testriggen (Dassault Systems, 2023)

Längst till vänster på Figur 14 finns T101, och de tre 25-litersdunkarna som används för pH-justering av vattnet. Bredvid dessa finns P101. Längre bak i bilden återfinns ett avloppsrör som gör det möjligt att dränera de olika punkterna enligt P&ID-schemat.

Efter en noggrann analys och optimering presenteras den slutgiltiga modelleringen enligt Figur 15 nedan.



Figur 15 Slutgiltig iteration av testriggen (Dassault Systems, 2023)

Enligt Figur 15 noteras nu:

- Ramen är nu detaljkonstruerad
- Polymerpumpen ligger parallellt med P101
- Avloppsröret ligger nu under ramen
- Reaktorn har halverats i storlek
- Polymertanken är cylinderformad
- Flotationen är konstruerad för korrekt uppehållstid och detaljkonstruerad
- Två uppsamlingskärl under flotationen, slam och pumptank

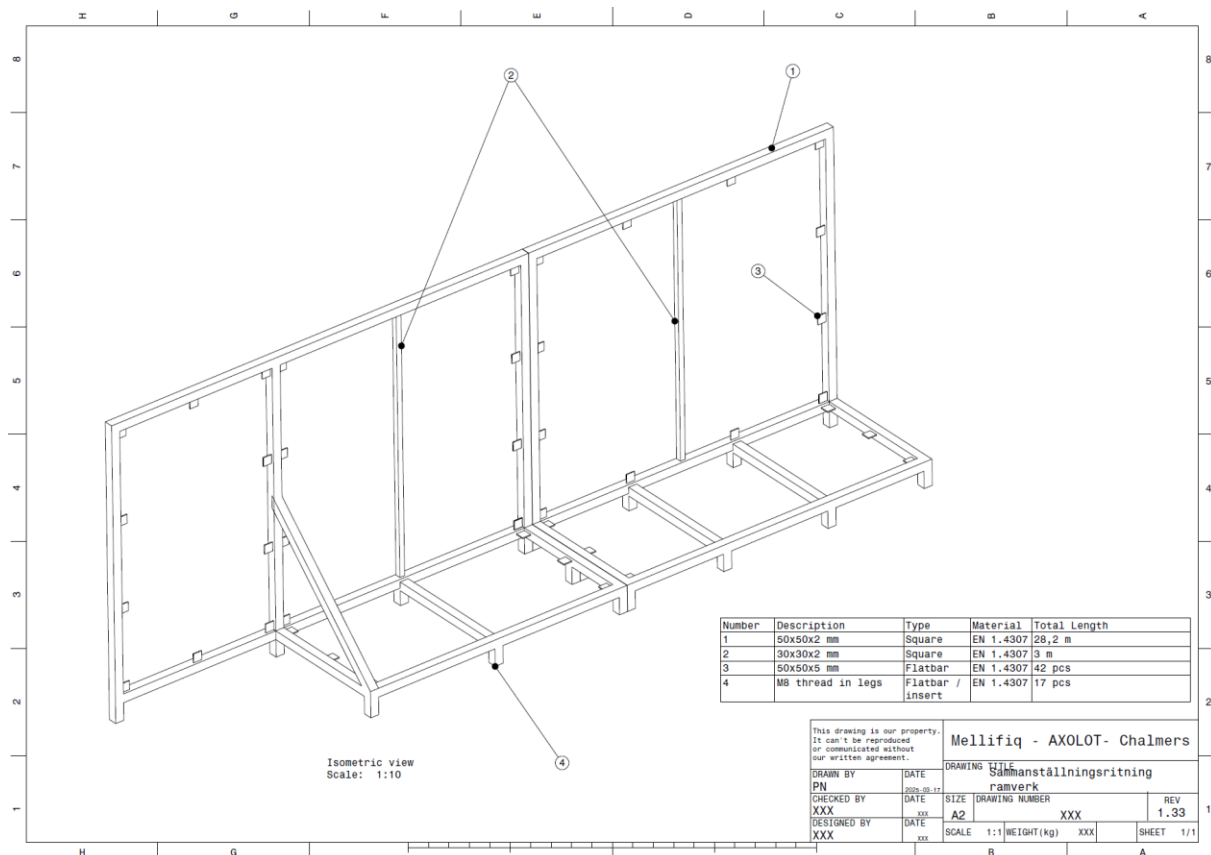
Denna modellering är den slutgiltiga och de två detaljkonstruerade delarna är ramverket och flotationen.

En ytterligare iteration som inte presenteras i detalj är en där flotationen placeras över T102 för att eliminera pumptanken T109 och pumpen P102. Detta medförde i sin tur att ergonomin för manuell rengöring av flotationen blev undermålig samt observationen av flockarna i flotationen inte optimal. Detta orsakade att iterationen eliminerades.

En komponent som inte visas via modellerna är en likriktare för att reglera strömmen till reaktorn. Beslut togs om att montera denna utanför systemet för att undvika stänk från hantering och drift av anläggningen, likriktaren kommer således försörja reaktorn med ström via förlängningskablar och kontrolleras via PLC.

3.2.5.3 Detaljkonstruktion av ramverk

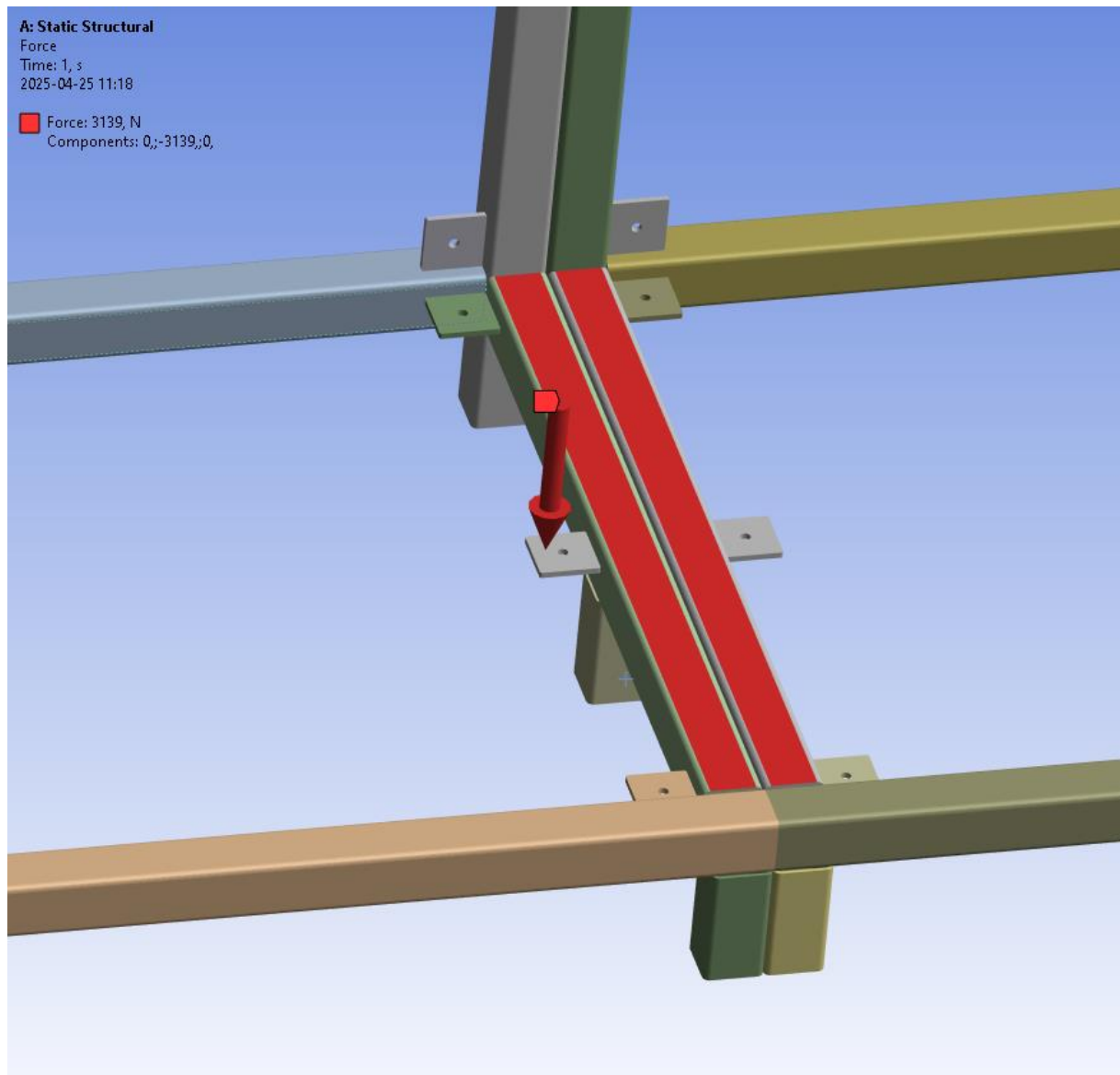
Vid konstruktionen av ramen diskuterades om den skulle byggas av projektgruppen för att minska projektkostnaderna, eller om den skulle läggas ut på uppdrag till en extern leverantör. Beslutet fattades att överlåta tillverkningen av ramverket till en underleverantör, vilket krävde en detaljritning. Denna ritning togs fram baserat på sammanställningsritningen nedan, enligt Figur 16, och godkändes av Mellifig. Den måttatta konstruktionsritningen finns som bilaga 3.



Figur 16 Detaljkonstruktion av ramverk, BOM-lista (Dassault Systems, 2023)

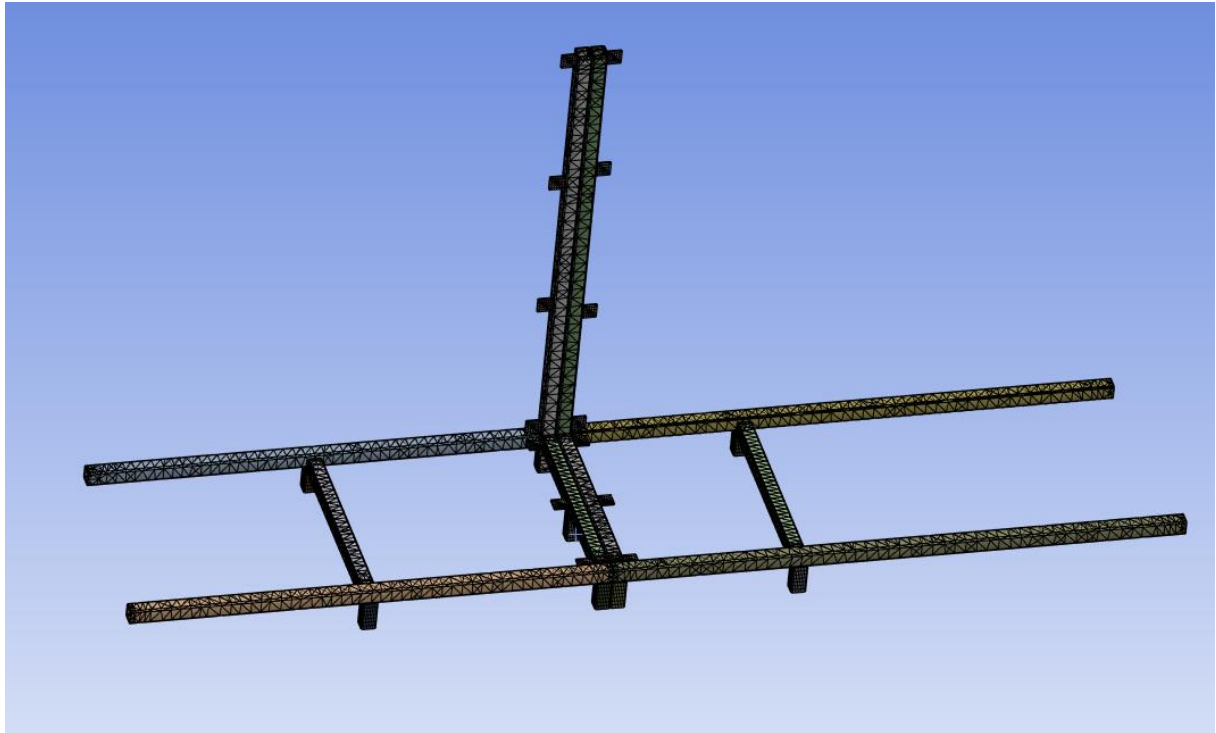
Ramverket består av två separata delar för att möjliggöra transport. Materialet som används för ramen är rostfritt stål enligt EN 1.4307, vilket erbjuder en balans mellan kemisk resistens och kostnadseffektivitet. Formplywood med en tjocklek på 15 mm kommer att fylla utrymmet på både den vertikala och den horisontella delen, där komponenter senare kan skruvas fast. Skivmaterialet kommer att vara i höjd med fyrkantsprofilerna för att säkerställa en ren installation.

För att höjjustera ramen kommer justerbara maskinfötter att installeras på alla ben, enligt notation 4 i Figur 16. Reaktorn, som placeras i skarven mellan ramverken, är den tyngsta komponenten i systemet. Det finns inga hållfasthetsproblem, eftersom reaktorn, när den är fylld med vatten, väger totalt cirka 320 kg, vilket fördelas över det dubbla ramverket. En övergripande FEM-analys med hjälp av ANSYS Mechanical (Ansys, 2024) genomfördes för att verifiera detta antagande. Modellen importerades och materialet valdes till rostfritt stål. De inre benen fixades, medan de övriga lades som friktionslösa stöd i planet. En utbredd last på 3139 N placerades enligt Figur 17 nedan.



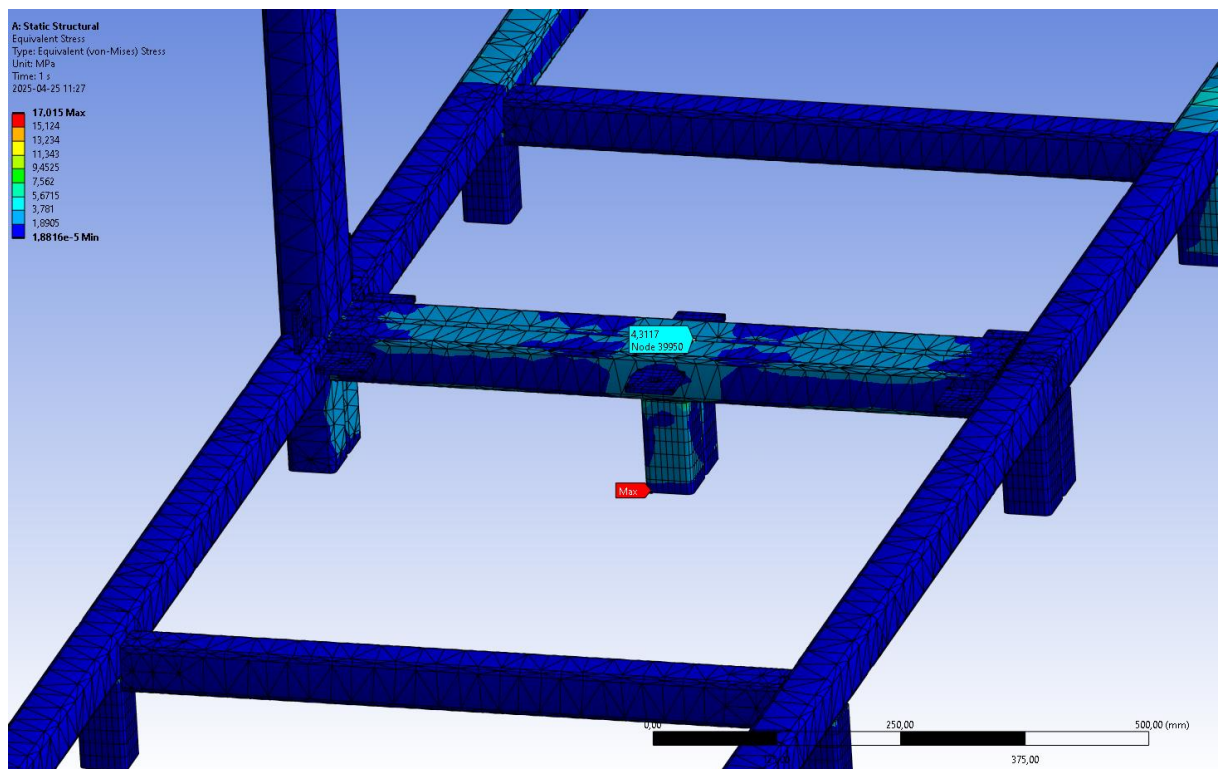
Figur 17 Fördelad last på tvärbalkar (Ansys, 2024)

Modellens mesh, det vill säga rastret som individuellt beräknas enligt finita elementmetoden, genererades enligt metoden solid kropp, med ett totalt antal element på 46 228 element. Samtidigt har modellen modifierats för att ta bort onödigt material, enligt Figur 18 nedan.



Figur 18 Modifierad modell för att anpassas till FEM beräkning (Ansys, 2024)

Det som är intressant, är att bekräfta att effektivspänningarna (von-Mises) ligger under sträckgränsen, vilket de också gör som noteras enligt Figur 19 nedan.



Figur 19 von-Mises effektivspänning (Ansys, 2024)

Den maximala effektivspänningen med den tänkta lasten ligger på 17 MPa och sträckgränsen för materialet är 207 MPa vilket ger en säkerhetsfaktor mot plastisering på 12. Ingen vidare beräkning behövs göras.

3.2.5.4 Detaljkonstruktion av flotation

För att konstruera en flotation som uppfyller systemets krav måste några faktorer beaktas som nämnts tidigare. Uppehållstiden med ett flöde på 500 liter / timme krävställer en volym på:

Volymflöde, \dot{V} :

$$\dot{V} = 500 \left[\frac{l}{h} \right]$$

$$\text{Volym, } V = \text{Volymflöde} * \text{Uppehållstid}, V = \dot{V} * T$$

$$T = 10 \text{ minuter} = \frac{1}{6} \text{ timme}$$

$$V = \dot{V} * T = 500 * \frac{1}{6} = 83,33 \text{ liter}$$

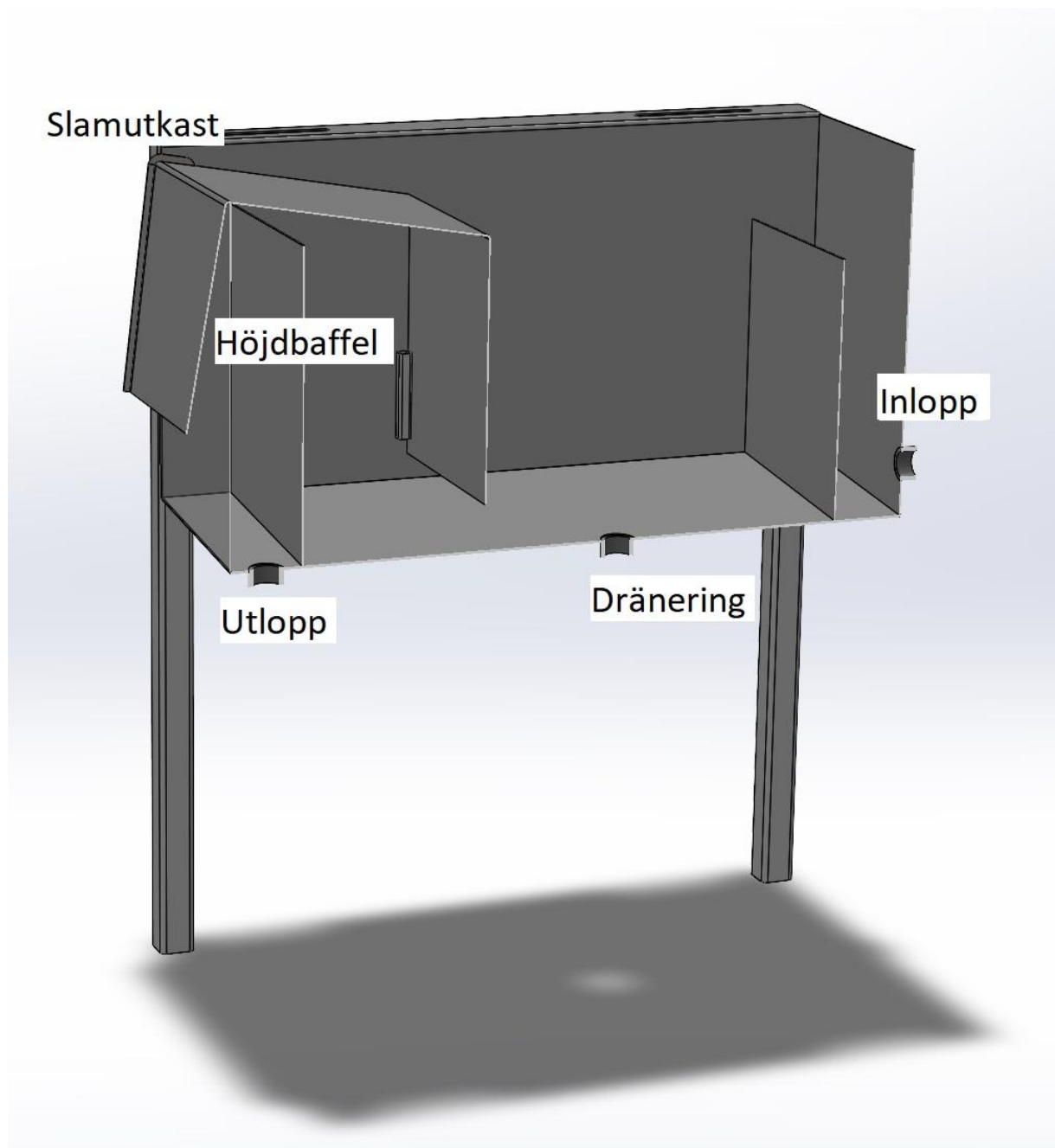
Den beräknade uppehållstiden baseras på erfarenheter från Mellifiqs tidigare projekt. Flotationen som ska konstrueras kommer att spegla den befintliga flotationen i designen, vilket gör att en skalning upp till större storlek från testriggen kan göras på ett effektivt sätt. Grundkonstruktionen togs fram tillsammans med en konstruktör på Mellifiq, med modifieringar från projektgruppen i Solid Works (Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, 2023). Flotationen presenteras enligt Figur 20 nedan.



Figur 20 Flotation mini (Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, 2023)

Flotationen är utformad för att tvinga vattnet att passera genom en sekventiell flödesväg, vilket möjliggör att slammet stiger till ytan där det skrapas över ett slamutkast och ned i en slamuppsamlare. Den totala volymen är cirka 83 liter, vilket uppfyller det specificerade kravet. Enligt Figur 21 nedan finns tre vertikala bafflar inuti flotationen som styr vattnets rörelse uppåt och nedåt i sekvenser. Höjdnivån i flotationen regleras med hjälp av den vänstra baffeln, placerad direkt under slamutkastet.

För att underlätta rengöring är slamutkastet utformat som löstagbart och hålls på plats av fyrkantströr. Själva utkastet har uppvikta kanter för att minimera spill under drift. Flotationen är utrustad med tre muffar: en inloppsmuff (till höger), en utloppsmuff (till vänster) och en dräneringsmuff i mitten.



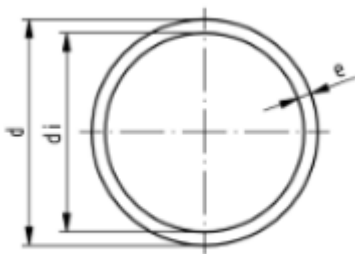
Figur 21 Sektionsvy med förklaringar (Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, 2023)

3.2.5.5 Komponentberäkning

Eftersom testriggen består av många delar som behöver monteras ihop krävs en komplett komponentlista. Denna lista inkluderar samtliga enskilda komponenter som behövs för att sammanfoga systemet. Urvalet av komponenter har baserats på Mellifiqs befintliga lagerhållning och tillgänglighet. Då det rör sig om en testrigg och projektets tidsramar är begränsade, har ingen detaljerad sammanställningsritning i CAD skapats. I stället sker uppbyggnaden direkt på plats enligt det framtagna P&ID-schemat.

Komponentlistan sammanställdes genom att systematiskt gå igenom P&ID-schemat från vänster till höger. Den fullständiga komponentlistan återfinns i bilaga 5. För att illustrera processen närmare beskrivs nedan hur anslutningen mellan PVC-U-rör och motorventiler sker. De använda rören är av typen PVC-U PN16 DN25, vilket innebär en ytterdiameter på 32 mm. Motorventilerna som valts har däremot en flänsanslutning i storlek DN50, vilket kräver en anpassning för kompatibilitet mellan rör och ventil.

PVC-U-rör finns i olika tryckklassningar som definierar tillåtet arbetstryck. För detta projekt valdes den högsta tillgängliga klassningen, PN16, vilket motsvarar ett maximalt arbetstryck på 16 bar. Det innebär att röret har ett godstjockleksmått (e) på 3,2 mm, en inre diameter (d_i) på 27,2 mm och en yttre diameter (d) på 32 mm, enligt Figur 22 nedan.



Figur 22 PVC-U rördimensioner (Georg Fisher AB, 2025)

Motorventilen som valts för projektet har en flänsanslutning i storlek DN50 och är hämtad från lagerhållningen hos Mellifig. Ventilen visas vid Figur 23 och kännetecknas av sin plana tätande yta, vilket kräver ett klämförband för korrekt montering och tätning. För att säkerställa korrekt installation har Georg Fishers (Georg Fisher AB, 2025) komponentkatalog studerats, då den anses vara branschstandard för rörkopplingar i PVC-U-system.

Monteringen av ventilen sker med hjälp av två lösflänsar enligt Figur 24, som spänns samman med hjälp av två tillhörande kraghylsa enligt Figur 25. Eftersom rörsystemet i projektet är dimensionerat till DN25 medan ventilen har dimensionen DN50, krävs en reduceringskomponent, enligt Figur 26. Denna reducering möjliggör övergång mellan rörens och ventilens olika dimensioner.

Förbindelsen skapas genom att PVC-U-röret limmas med ett godkänt PVC-lim till reduceringsdelen, vilken i sin tur limmas fast i kraghylsan. Det är av största vikt att lösflänsen monteras på röret innan limningen utförs, då denna senare ska spännas fast med skruvförband.

För att säkerställa kompatibilitet mellan alla komponenter kontrolleras de tekniska specifikationerna, inklusive utvändiga diametrar och skruvfördelning, så att tätning och montering uppfyller krav på funktionalitet och täthet. För att göra en inkoppling från DN25 rör till en DN50 ventil noteras artikelnummer enligt Tabell 1.

Tabell 1 Anslutningsdelar motorventil

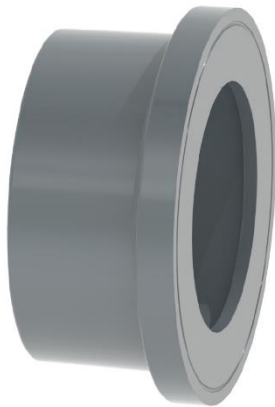
	Ytterdiameter (mm)	Innerdiameter (mm)	Artikelnummer (Georg Fisher AB, 2025)
Rör	32		161 017 108
Förminskning	63	32	721 910 922
Kraghylsa	2"	63	721 790 111
Lösfläns	DN50	78	721 700 011



Figur 23 Motorventil med flänsanslutning DN50



Figur 24 Lösfläns (Georg Fisher AB, 2025)



Figur 25 Kraghylsa (Georg Fisher AB, 2025)



Figur 26 Förminskning Pro-fit (Georg Fisher AB, 2025)

För att förstå vilken del och artikelnummer som är aktuell kontrolleras databladet för varje komponent. Datablad för dessa tre komponenter återfinns som bilaga 7, 8 och 9.

Att montera samman alla komponenter kräver tålamod och struktur, detta skapades genom att studera P&ID samt GF:s produktkatalog som sammanställdes i Excell enligt Tabell 2. RSK nummer är ett alternativ till GF:s artikelnummer som står för Rörbranschens Standardiserade Katalog (VVS Information Data AB, 2025) vilket gör att det går att söka efter funktion från flera tillverkare, vilket är till fördel för att göra en positiv kostnadskalkyl.

Tabell 2 Komponentlista för inkopplingar mellan komponenter

Special (inkoppling)	förhållande - förklaring	RSK	Antal behov	Övrig info	Finns [Ja/Nej]	Lev	Totalt behov
Inlopp/utlopp skruvpump	Kraghylsa DN50	GF 2275519	2			GF	2
	lösfläns DN50	GF 3103264	2			GF	2
	Förminskning 63 OD till 32 OD	GF 2262556	2			GF	2
Injektion av Syra , bas väpe	T stycke med DN25 (32 inner) main, 25 inner på avtapp	GF 2264299	4			GF	4
	1/2 ytter till 1/4 ytter förminskning ytter gäng	GPA NRRFM R015-R008	4			GPA	4
	lim 25mm ytter till gäng inner 1/2"	GF 2268639	4			GF	4
Montering ldl100	rp 1/2 till R1"	GF 721910842	1			GF	1
	rp 1" till 32 inre	GF 2267243	1			GF	1
	T rör 32 ID dn25	GF 2264042	1			GF	1
Montering tryckgivare	rp 1/2 till R1"	GF 721910842	2			GF	2
	T rör DN25 main 1" inngång på avstick	GF2266054	2			GF	2
Anslutning 2st ventil SV VATTEN	Krankoppling hona 1/2 "	typ gardena	2			Ahlsell	2
	R 1/2" hane hane	GF 2277028	2				2
	SV ventil						
	R 1/2" hane hane	GF 2277028	2			GF	2
	rp 1/2 till R1"	GF 721910842	2			GF	2
	T rör DN25 main 1" inngång på avstick	GF2266054	2			GF	2
	Slang från fast installation (gardena)	standard	5m				5m
	Krankoppling hona 1/2 "	typ gardena	2			Ahlsell	2
Snabbkoppling hona	typ gardena	4			Ahlsell	4	
Anslutning av 1st MV DN50	Kraghylsa DN50	GF 2275519	2			GF	10
	lösfläns DN50	GF 3103264	2			GF	10
	Förminskning 63 OD till 32 OD	GF 2262556	2			GF	10
Inkoppling ingång reaktor 1 1/4"	lim x inv gäng union 1 1/4"	GF 2271450	1			GF	1
	förminskning lim lim 40 - 32	GF 2268258	1			GF	1
Inkoppling Drän reaktor 2" nippel	lim inv gäng union 2"	GF 2271476	1			GF	1
	Förminskning pro fit	GF 2262556	1			GF	1
Inkoppling utlopp reaktor 1 1/4"	lim x inv gäng union 1 1/4"	GF 2271450	1			GF	1
	förminskning lim lim 40 - 32	GF 2268258	1			GF	1
Slanganslutning Polymerpump	Push lock rak nippel 1/4"	Festo 4052568060442	2			Festo	2
	Push lock 90 gr nippel 1/4"	Festo 4052568059866	2			Festo	2
Polymerslang koppl	L vinkel koppling	Festo 153071	5			Festo	10
Inkoppl av stubbe (F) DN15 polymer	Push lock rak nippel 1/4"	Festo 4052568060442	2			Festo	2
	förm 12 - 1/4" lim gäng	GF 2268605	2			GF	2
	förm pro fit lim lim	GF 2262543	2			GF	2

3.2.5.6 Kostnads kalkyl för EC

För att skapa ett underlag för investeringen krävs en kostnads kalkyl kopplat till projektet. Detta skapades efter att den generella strukturen för komponenterna var beslutad. Inom samma Excel dokument gjordes en kostnadsberäkning för samtliga komponenter enligt Tabell 3.

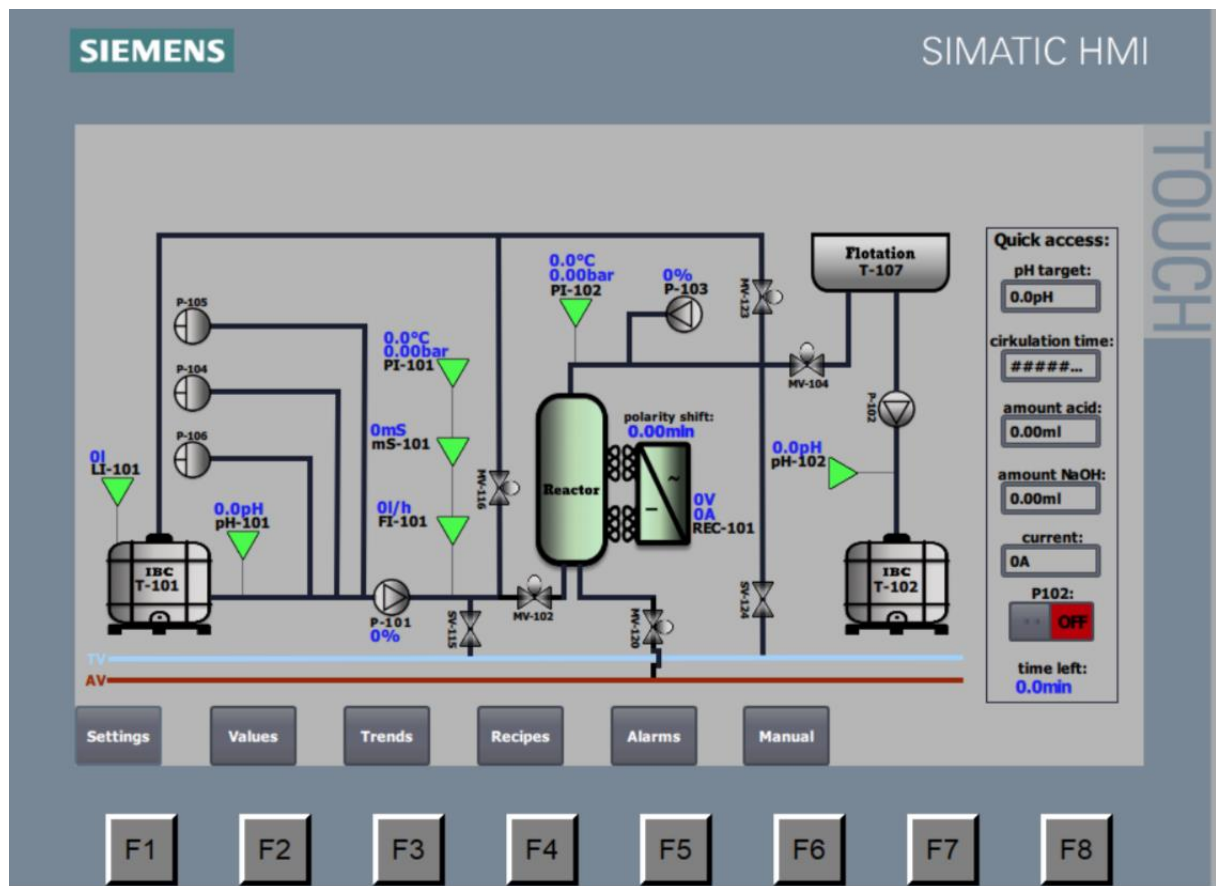
Tabell 3 Sammanställd kostnadskalkyl för inköp

Motor/pumpar	Beskrivning	Modell/nr	Finns [Ja/Nej]	Effekt [kW]		Offert	Kost
P101	Skruvpump huvudflöde	MAF SE32BA	Ja	1,5			0
P102	Dränkpump till T102		Nej (Gammal finns)	0,25			1015
P103	Doserpump polymerlösning	Spectra 12/100 F	Ja	0,4			0
P104	Doserpump syra	Pahlén	Ja				0
P105	Doserpump lut	Pahlén	Ja				0
P106	Doserpump väteperoxid	Pahlén	Ja				0
						SA	1015
Instrument	Beskrivning	Modell/nr	Finns [Ja/Nej]	Storlek		Offert	Kost
LI 101	Nivågivare T101	PS3607	Ja				
PI 101	Tryckgivare innan reaktor	PL1506	Ja				
FI 101	Flödesgivare innan reaktor	SA4100	Ja				
mS 101	Konduktivitetsgivare innan reaktor	LDL100	Ja				
PI 102 (=103)	Tryckgivare efter reaktor	PL1506	Ja				0
pH 101	pH-givare ingående JUMO	00621059	Nej			218EUR	2398
ph givare inkoppling	y koppling fr mellifiq		Ja				
pH 102 (=103)	pH-givare utgående JUMO	00621059	Nej				
	pH kablage JUMO	00082673	/st			41EUR	451
Transmitter pH x 2	JUMO ecoTRANS pH 03	00508665	/st			318EUR	3498
Aramatur pH x 2	Genomflödesarmatur JUMO	00416457	/st	Ersätts av Mellifiq		207EUR	2277
						SA	8624
Ventiler	Typ	Antal	Kostnad				Kost
Bevo - 0112102	Kulventil HAND DN25	10	72				720
Bevo - 0112100	Kulventil HAND DN15	8	55				440
Bevo - 7018923	Kulventil Don DN 25	5	2835				14175
Bücker - 6281	Magnetventil	2	675				1350
GF - 061591002	Vent / Avluft	1	1000				1000
Bevo - 0111539	Backventil	4	95				380
						SA	18065
Ramkonstruktion	Beskrivning	Modell/nr		Storlek	Antal	Kost per st	Kostnad
Ramverk	Underleverantör				1		22500
Skivmaterial	PP/Formply skiva för montage 15mm	15mm		2000x1000	2	1492	2984
	PP /Formply skiva för montage 15mm	15mm		3000x1500	2	3350	6700
Justerben	Rostfria	m8 kanske			17	150	2550
Skruvförband	Infäst skiva bult	m8x35		m8	100	5	500
	mutter	m8		m8	100	5	500
	bricka	m8		m8	100		150
						SA	35884
						SA	15000
Rör / kopplingar etc	Summerat alla smådelar						
						Totalt	78588

Detta är en uppskattning av kostnadsbilden, komponenter som fanns i lager räknas inte av i kalkylen, endast anskaffning.

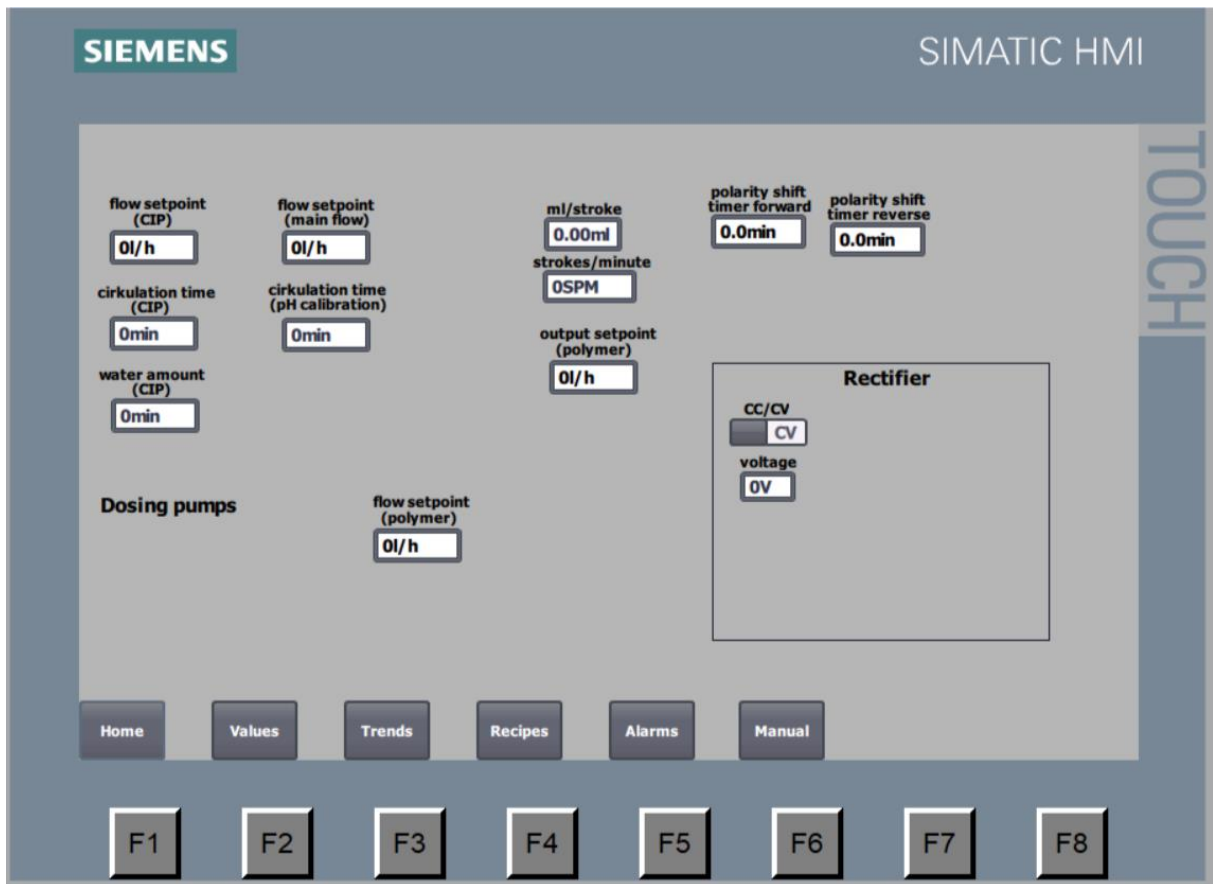
3.2.5.7 Automation

Som tidigare nämnts i inledningen och systembeskrivningen styrs många av funktionerna av en PLC. Den totala elektriska konstruktionen och programmeringen görs av en automationsingenjör på Mellifiq. Processernas pH justering, drift, backspolning och CIP är automatiserade. Nedan enligt Figur 27 presenteras hemskärmen för kontrollskärmen, en så kallad HMI (Human Machine Interface). På denna presenteras all återkoppling från komponenter som ger återkoppling.



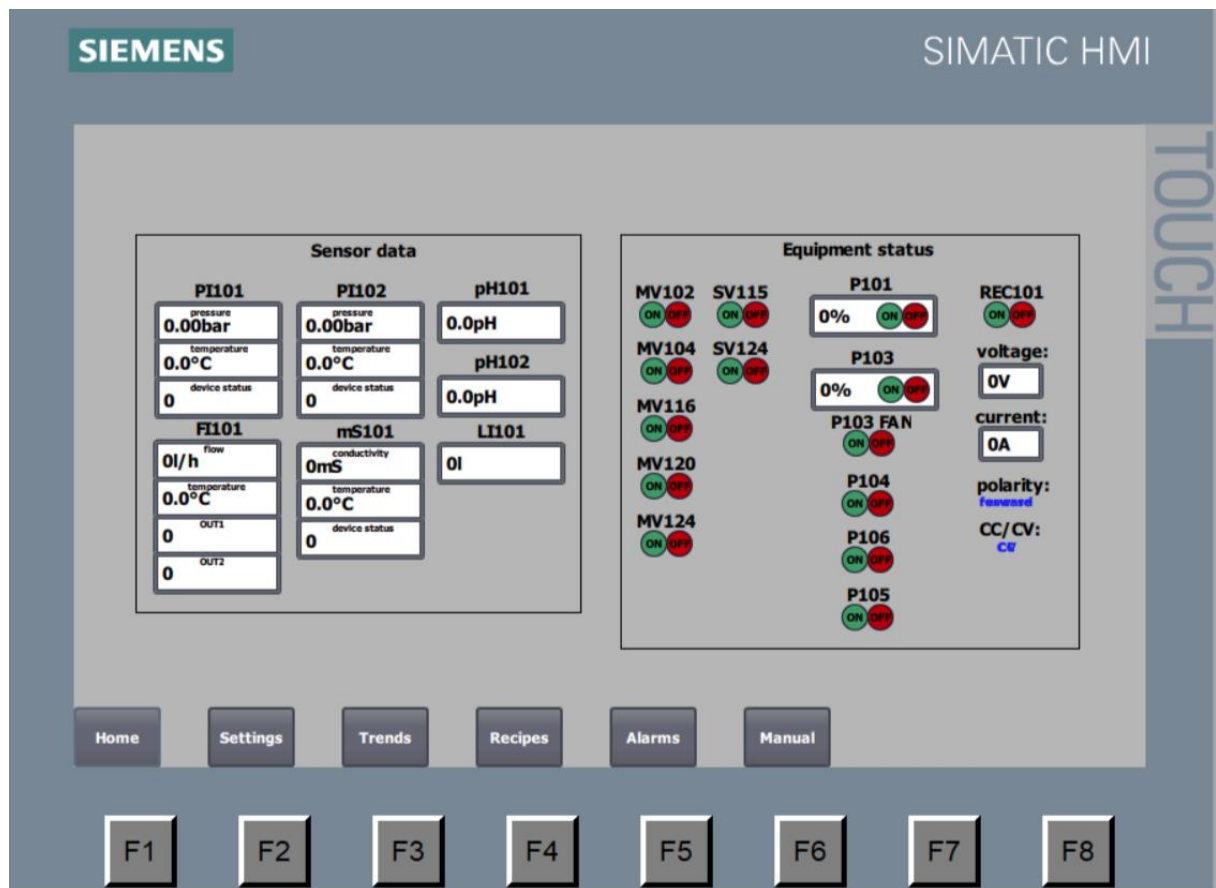
Figur 27 HMI hemskärm

För att justera inställningarna på processen presenteras fliken ”Settings” enligt Figur 28. Här kan huvudflöde och till exempel polymerflöde justeras.



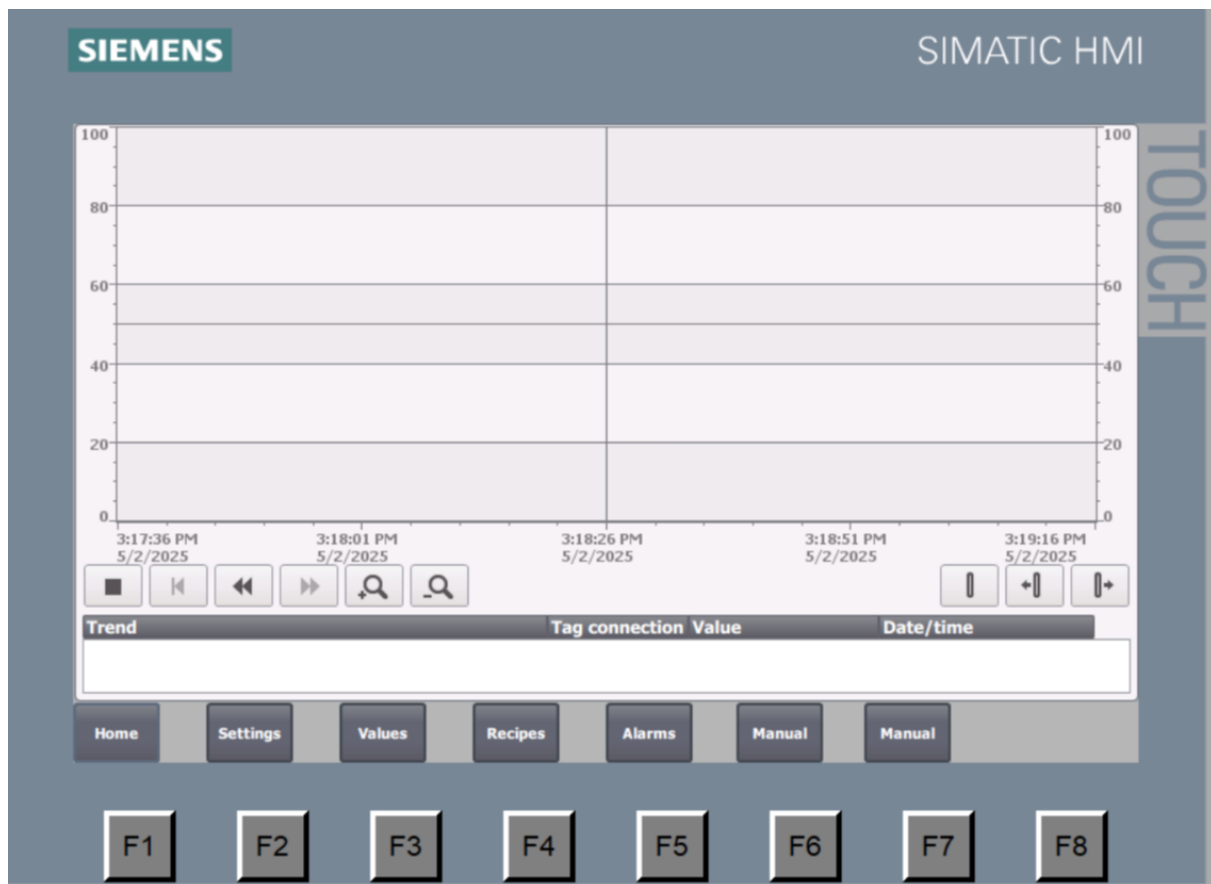
Figur 28 Inställningar

Aktuella värden presenteras vid fliken "Values", Figur 29.



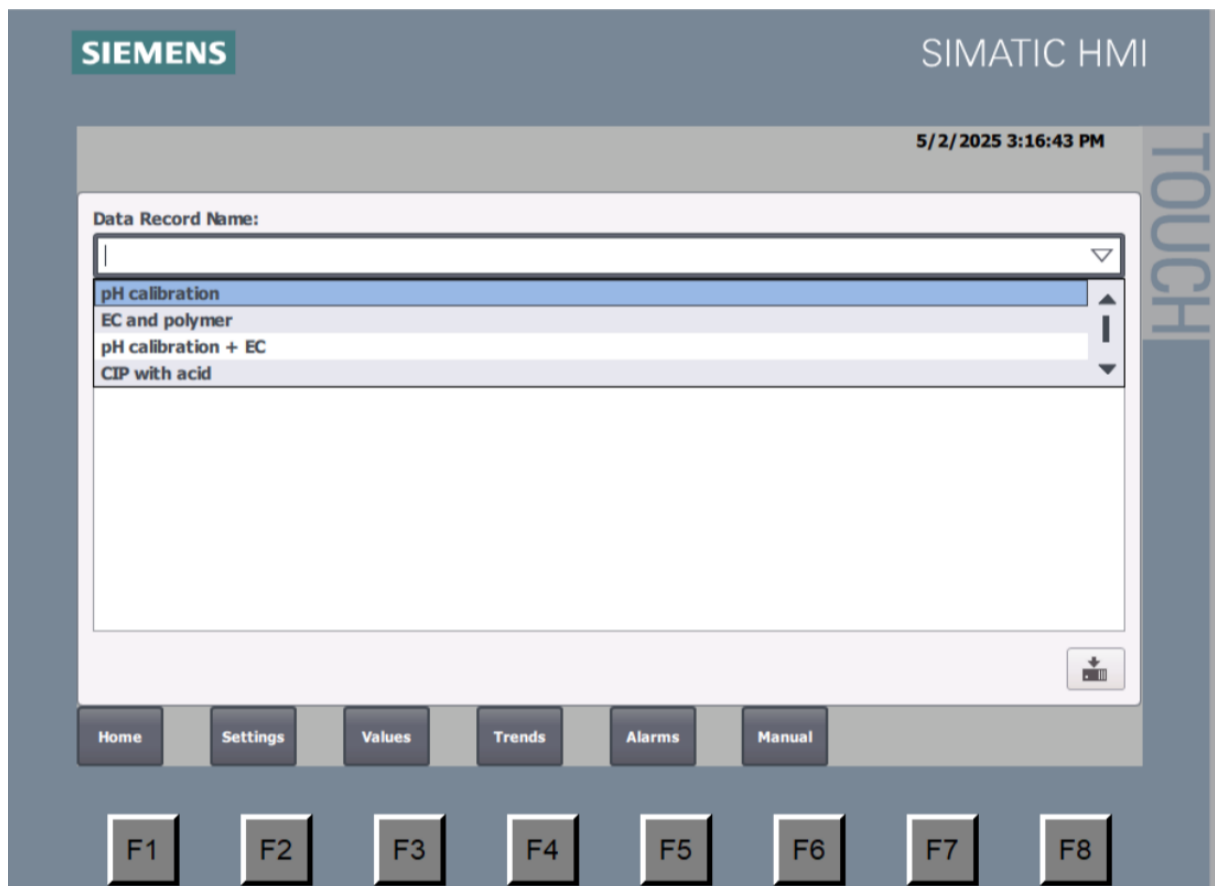
Figur 29 Värden för instrument och komponenter

För att se exempelvis hur pH nivån rör sig under justeringen, kan detta noteras under flik ”Trend” enligt Figur 30.



Figur 30 Trender exempel

De olika automatiserade processerna väljs enligt fliken ”Recipes”, exempel enligt Figur 31.



Figur 31 Recept och program

Alla funktioner kan köras manuellt från flik ”Manual”, Figur 33, för att kontrollera funktion och status. En larmtabla är också implementerad för att stanna processen på ett säkert sätt om något värde avviker från förväntat. En övergripande parameterlista finns också, Figur 32, för att justera skalningsnivån på in och utgångarna från PLC:n för att anpassa dessa till verkliga värden.

Analog input configuration

FI101		mS101		PI101		PI102		REC101		pH101	pH102	LI101
Temp	Flow	Temp	Conduct	Temp	Pressure	Temp	Pressure	Voltage	Current	pH value	pH value	volume
MIN NORM	MIN NORM	MIN NORM	MIN NORM	MIN NORM	MIN NORM	MIN NORM	MIN NORM	MIN NORM	MIN NORM	MIN NORM	MIN NORM	MIN NORM
####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...
MAX NORM	MAX NORM	MAX NORM	MAX NORM	MAX NORM	MAX NORM	MAX NORM	MAX NORM	MAX NORM	MAX NORM	MAX NORM	MAX NORM	MAX NORM
####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...
MIN SCALE	MIN SCALE	MIN SCALE	MIN SCALE	MIN SCALE	MIN SCALE	MIN SCALE	MIN SCALE	MIN SCALE	MIN SCALE	MIN SCALE	MIN SCALE	MIN SCALE
####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...
MAX SCALE	MAX SCALE	MAX SCALE	MAX SCALE	MAX SCALE	MAX SCALE	MAX SCALE	MAX SCALE	MAX SCALE	MAX SCALE	MAX SCALE	MAX SCALE	MAX SCALE
####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...	####...
	m/s to l/h											bar to l
	####...											####...

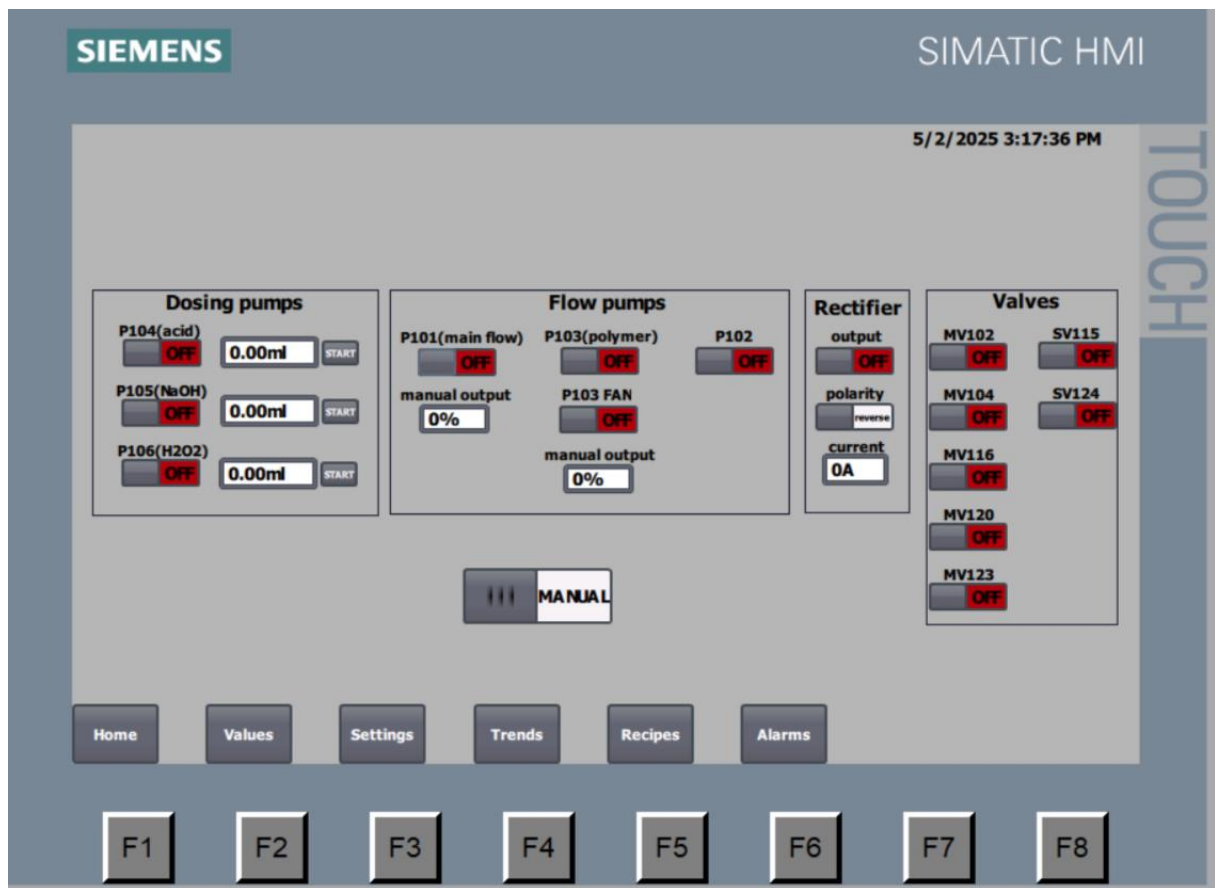
Analog output configuration

P101		P103		REC101	
VFD OUT	VFD OUT	Voltage	Current		
MIN NORM	MIN NORM	MIN NORM	MIN NORM		
####...	####...	####...	####...		
MAX NORM	MAX NORM	MAX NORM	MAX NORM		
####...	####...	####...	####...		
MIN SCALE	MIN SCALE	MIN SCALE	MIN SCALE		
####...	####...	####...	####...		
MAX SCALE	MAX SCALE	MAX SCALE	MAX SCALE		
####...	####...	####...	####...		
		voltage			
		####...			

Home
Settings
Values
Recipes
Alarms
Manual
Manual

F1
F2
F3
F4
F5
F6
F7
F8

Figur 32 Parameterlista och skalning



Figur 33 Manuell körning

För att köra enskilda komponenter i manuellt läge måste detta verifieras med dubbeltryckningar via HMI för att säkerställa att operatören vet vad hen gör, ett dubbelfattningsgrepp för att säkerställa ett säkert handhavande.

3.3 Testrigg kolfiltrering

En central del i reningsprocessen av förorenat vatten är behandlingen genom kolfilter. Kolfilter används för att avlägsna organiska föroreningar tunga metaller och kemikalier genom adsorption, där ämnen fastnar på ytan av det aktiva kolet. För att processen ska vara effektiv krävs grundläggande kunskaper inom kemi, särskilt adsorptionsteori, samt förståelse för kolets porstruktur och ytegenskaper.

Utöver kemiska aspekter är korrekt dimensionering av systemet avgörande. Faktorer som uppehållstid, flödes hastighet och tryckfall måste beaktas för att uppnå optimal reningseffektivitet. För att konstruera ett fungerande kolfiltreringssystem har en litteraturstudie genomförts, med fokus på framför allt boken Activated Carbon Adsorption for Wastewater Treatment (Perrich, 1981).

Denna del av projektet fokuserade på följande punkter:

- En processbeskrivning (PFD – Process Flow Diagram)
- En reglerteknisk modell (PID – Piping and Instrumentation Diagram)
- CAD-modellering av anläggningen
- Dimensioneringsberäkningar baserade på förväntade flöden och krav på uppehållstid

3.3.1 Teoretisk analys kring kolfiltrering

Litteraturstudien kring kolfiltrering fokuserade på olika typer av aktivt kol och deras egenskaper. Syftet var att skapa en grund för utformningen av filtret genom att analysera flera parametrar: vilka typer av kol som finns och vilka föroreningar de effektivt kan avlägsna, hur stor mängd föroreningar som kan adsorberas beroende på kolets kapacitet, samt hur porstruktur och ytkemi påverkar adsorptionsförmågan.

Adsorption är ett centralt begrepp som kommer att användas frekvent i följande avsnitt. Det kan därför vara av relevans att tydliggöra skillnaden mellan begreppen adsorption och absorption. Absorption innebär att ett ämne tränger in i volymen hos ett annat material, medan adsorption syftar på att ett ämne fastnar på ytan av ett annat. I detta sammanhang avses föroreningar som adsorberas på ytan av aktivt kol.

Enligt Tabell 4 finns fakta kring två olika typer av kol sammanställt. Siffervärden och andra viktiga fakta beskrivs enligt (Perrich, 1981).

Tabell 4 Sammanställning av GAC:s och IAC:s egenskaper

Koltyp	Granulärt aktivt kol (GAC)	Impregnerat aktivt kol (IAC)
Föroreningstyper som effektivt elimineras	Organiska föreningar såsom pesticider, industriella kemikalier och läkemedelsrester. VOC såsom lösningsmedel, bensen och andra flyktiga kemikalier.	Svåra organiska föreningar såsom PFAS, pesticider och herbicider. Tungmetaller såsom bly, kvicksilver och arsenik.
Adsorptionskapacitet	GAC kan adsorbera 100-500g förorening per kg kol, vilket motsvarar 10–50% av sin egen vikt. Att det varierar mellan 10–50% beror på vilken förorening som adsorberas. Exempelvis kan GAC adsorbera 35% bensen men enbart 10% PFAS.	IAC kan adsorbera 5–30% beroende på förorening och impregnering.
Ytarea	800–1500 m ² /g	600–1000 m ² /g
Porositet (%)	Total porositet: 40–55%. GAC är hög porvolym och domineras av mikroporer.	Total porositet: 30–50%. IAC har en lägre porvolym än GAC, då porer är fyllda med impregnering.
Förutsättningar	Effektivt vid: -Neutralt till svagt surt pH-värde -Hög temperatur -Tillräckligt lång kontaktid -Låg flödes hastighet	Effektivt vid: -Stabil kemisk miljö, då IAC är känslig inom parametrarna fukt, pH och temperatur -Tillräckligt lång kontaktid -Låg flödes hastighet

Enligt (Perrich, 1981) bestäms adsorptionskapaciteten hos aktivt kol i huvudsak av två faktorer: porositet och ytarea. Hög porositet innebär att kolet har många inre håligheter där föroreningar kan tränga in och fastna, medan en stor ytarea ger fler aktiva platser där adsorption kan ske. Tillsammans avgör dessa egenskaper hur mycket föroreningar kolet kan binda. Ett enkelt sätt att visualisera detta är att jämföra aktivt kol med en svamp, ju fler och större hål svampen har, desto mer vätska kan den suga upp. På samma sätt avgör porstrukturen och den tillgängliga ytan hur effektivt kolet kan adsorbiera ämnen från vattnet.

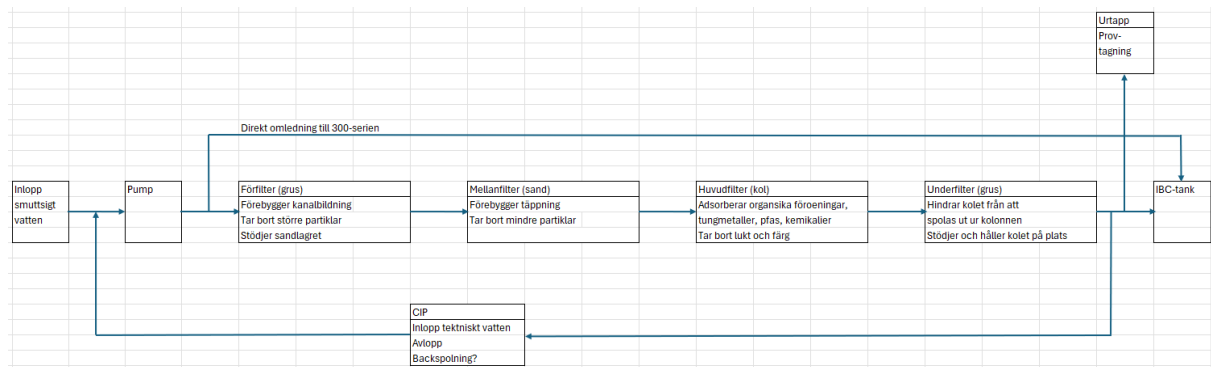
Perrich beskriver även att adsorptionskapaciteten hos aktivt kol kan påverkas av huruvida det har impregnerats samt vilken typ av impregnering som har använts. Genom impregnering kan både kolets porositet och ytkemi förändras, vilket påverkar hur effektivt olika föroreningar binds. Effekten av impregneringen beror på vilka ämnen som ska adsorberas och hur dessa interagerar med kolets yta. Genom att tillsätta specifika kemikalier under impregneringen kan kolets egenskaper skräddarsys för att optimera upptaget av en viss förorening. Med andra ord manipuleras ytkemin för att främja just den reaktion eller bindning som önskas i en given situation.

Studiens slutsats pekar på att Granulärt aktivt kol (GAC) är det föredragna valet, på grund av dess högre porositet och större specifika ytarea enligt Tabell 4. Dessutom ger GAC god kapacitet för adsorption av en mängd olika organiska föroreningar. Det utesluter dock inte användbarheten hos impregnerat aktivt kol (IAC). Tvärtom finns det flera föroreningar, såsom PFAS och tungmetaller som bly, kvicksilver och arsenik, som GAC har begränsad förmåga att hantera, men där IAC är effektivt. Valet mellan GAC och IAC bör därför baseras på det specifika testvattnet. I de fall där GAC bedöms vara tillräckligt, kan IAC ändå övervägas som ett komplement för att bredda reningsförmågan.

3.3.2 PFD - Process Flow Diagram

För att visualisera samtliga ingående processteg och skapa en överskådlig bild av komponenternas inbördes ordning togs ett processflödesschema (PFD) fram i programvaran Drawio (Alder, 2025). Som det illustreras enligt Figur 34 är kolkolonnen uppdelad i fyra lager: ett förfilter, mellanfilter, huvudfilter och underfilter, var och en med en specifik funktion i

reningsprocessen. Med hjälp av PFD:n kunde även andra delprocesser integreras, såsom CIP-systemet med dess in- och utgång, placeringen av provtagningspunkten samt vart en omlodning runt kolfiltren bör installeras, med hänsyn till pumpens placering. Schemat gav därmed en tydlig helhetsbild av processens struktur och flöden, och fungerar som ett viktigt underlag inför framtagandet av det mer detaljerade P&ID-diagrammet.

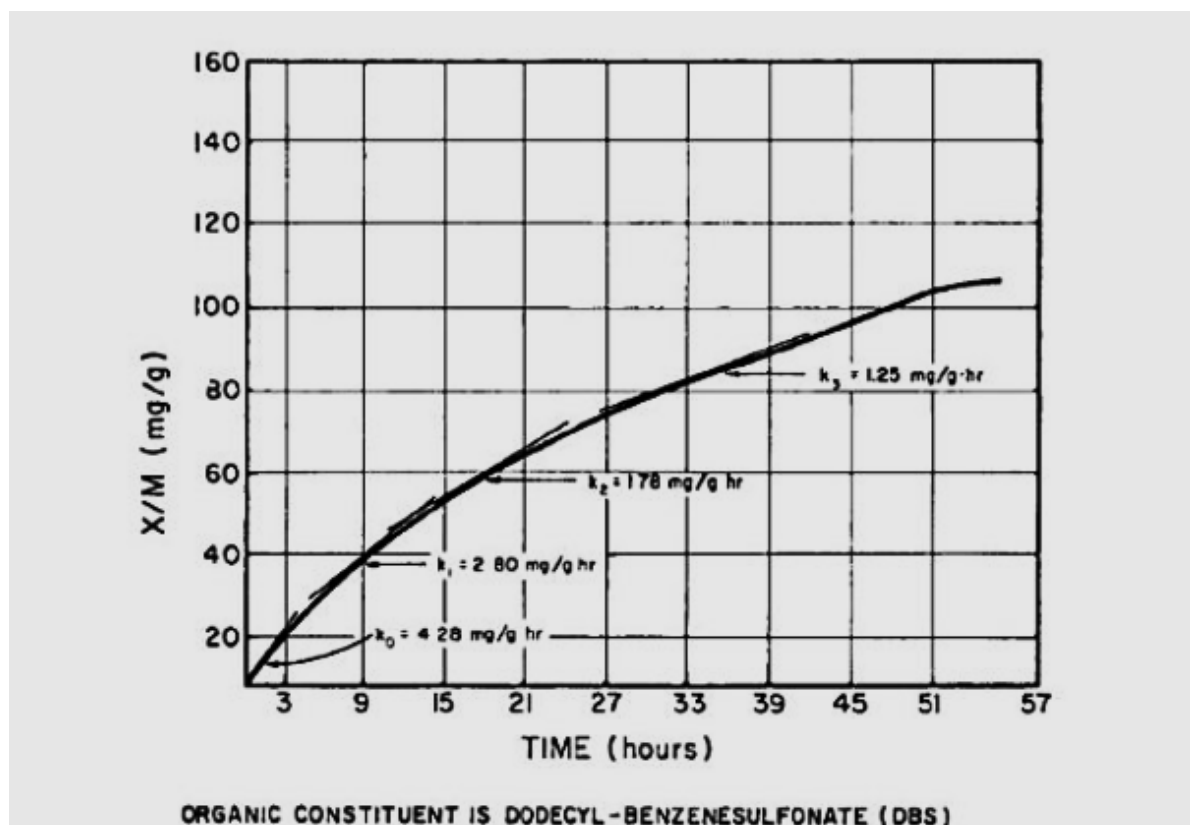


Figur 34 PFD för kolfilterssystem

3.3.3 PID - Piping & Instrument Diagram

När det kom till utformningen av layouten, låg tyngden i att säkerställa en effektiv vattenrening och samtidigt möjliggöra datainsamling för framtida optimeringar. Systemet konstruerades med fyra seriekopplade kolonner och tre parallella rader enligt Figur 36. Denna uppställning möjliggör drift med en till tre aktiva flödesvägar beroende på vilka volymer testvatten som skall genomflöda systemet och hur mycket tid som finns tillgänglig.

Att ha fyra seriekopplade kolonner med provtagningspunkter efter varje steg ger flera fördelar. För det första möjliggör detta en noggrann analys av hur föroreningar adsorberas stegvis längs kolonnerna. Detta ger insikter i både genombrottskurvor och kolonnens adsorptionskapacitet. Genom att analysera vattenkvaliteten efter varje kolonn blir det möjligt att identifiera vid vilken punkt genombrottet sker, det vill säga när en kolonn inte längre renar vattnet effektivt. Det är även möjligt att kvantifiera hur mycket varje enskild kolonn adsorberar innan och efter mättnad, vilket är avgörande för att bedöma kolonnens effektivitet och livslängd. Resultaten från denna typ av provtagning ger värdefull input till matematiska modeller av adsorption, ett exempel på hur detta kan se ut illustreras enligt Figur 35.



Figur 35 Kolets genombrottskurva från (Perrich, 1981, p. 9)

Grafen enligt Figur 35 visar en adsorptionskurva för aktivt kol som används för att avlägsna en organisk förening, som i detta fall är dodecyl-bensen-sulfonat (DBS). På y-axeln anges X/M (mg/g), vilket representerar mängden DBS som adsorberats per gram aktivt kol. X-axeln visar tiden i timmar från och med att experimentet sätts igång.

Kurvan följer ett typiskt mönster för adsorption, det vill säga en snabb ökning inledningsvis där mycket av föroeningen tas upp av det aktiva kolet, följt av avplaning när kolet närmar sig mättnad och adsorptionskapaciteten minskar.

Perrichs experiment genomfördes med hjälp av tre mätpunkter, som avbildade olika lutningar i kurvan (k_0 till k_3). Dessa lutningar representerar adsorptionshastigheter i olika tidsintervall, vilket kan observeras enligt Tabell 5.

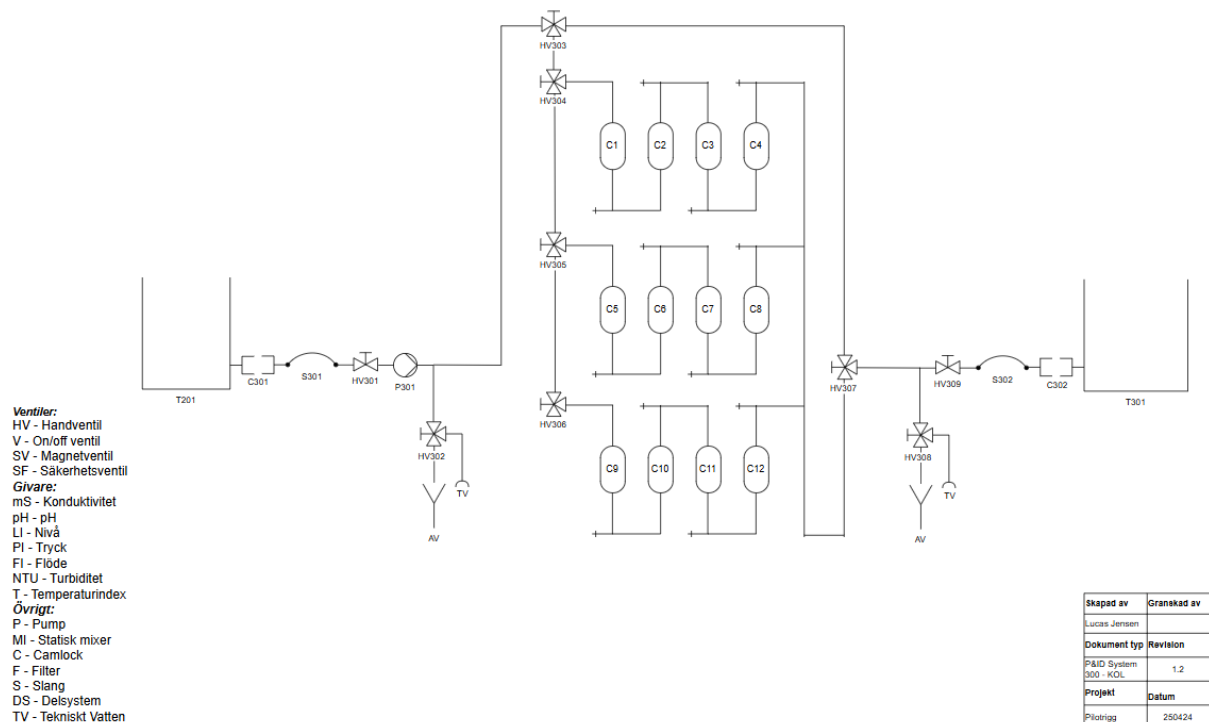
Tabell 5 Mätpunkter på adsorptionskurvan

Mätpunkt	Kommentar
$k_0 = 4,28$ mg/g×hr	Inledningsfasen illustrerar hög adsorptionshastighet, då kolets mest lättillgängliga ytor snabbt binder föroreningar.
$k_1 = 2,80$ mg/g×hr	Under den andra fasen börjar porerna fyllas, och hastigheten minskar något.
$k_2 = 1,78$ mg/g×hr	Adsorptionshastigheten fortsätter att minska i takt med att färre aktiva ytor finns tillgängliga.
$k_3 = 1,25$ mg/g×hr	I den avslutande fasen är kolet nästan mättat, och upptaget av föroreningar går mycket långsamt.

Den avtagande lutningen i kurvan speglar ett välkänt beteende, det vill säga när de mest reaktiva ytorna snabbt förbrukas, återstår endast svåråtkomliga porer med lägre adsorptionsförmåga. För designen av kolfiltersystemet är detta avgörande, eftersom kapaciteten sjunker över tid. När kolet blir helt mättat passerar föroreningarna rakt igenom filtret utan att adsorberas och så med har filtret förlorat sin funktion.

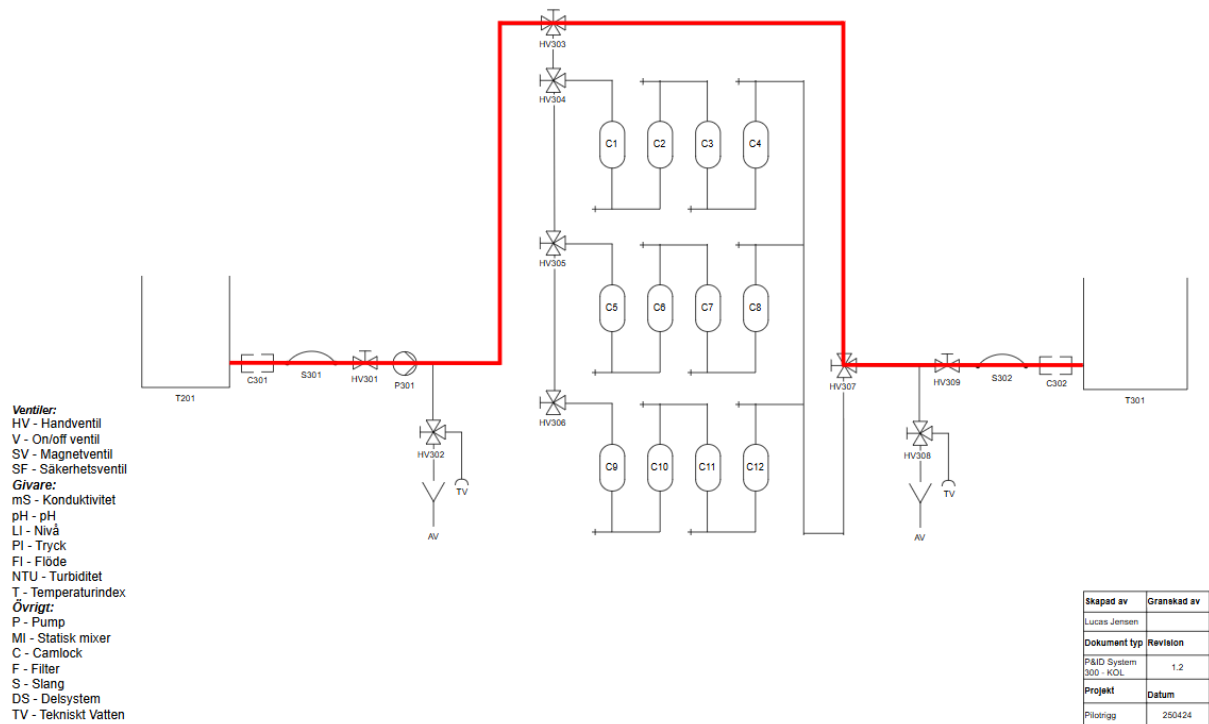
Lärdomar från sådana mättnadskurvor är särskilt praktiska vid användning av seriekopplade kolfilter med mätpunkter mellan varje kolonn. Genom att mäta koncentrationen av föroreningar (DBS) efter varje steg, kan en uppskattning ske på hur mycket varje kolonn bidrar till den totala adsorptionskapaciteten. Om den första kolonnen exempelvis adsorberar 80% av föroreningarna innan genombrott, tyder det på en effektiv användning. Om den däremot släpper igenom stora mängder för tidigt, kan det indikera för hög flödes hastighet eller otillräcklig kontaktid. Sådana analyser är användbara för att optimera kolkolonndimensionering och byteintervall.

Enligt Figur 36 illustreras ett P&ID (Piping & Instrument Diagram) för kolfiltersystemet, vilket skapades med hjälp av programvaran Drawio (Alder, 2025). Utöver de kolkolonnserier och ventiler som beskrivs mer ingående enligt Figur 36, innehåller diagrammet även andra komponenter, såsom in- och utlopp för tillförsel och avledning av tekniskt vatten (dvs. vanligt kranvatten). Dessa anslutningar är kopplade till Clean-In-Place systemet (CIP rengöring) och är endast relevanta att använda när kolkolonnerna är förbrukade, det vill säga när systemet är tomt och redo för rengöring.



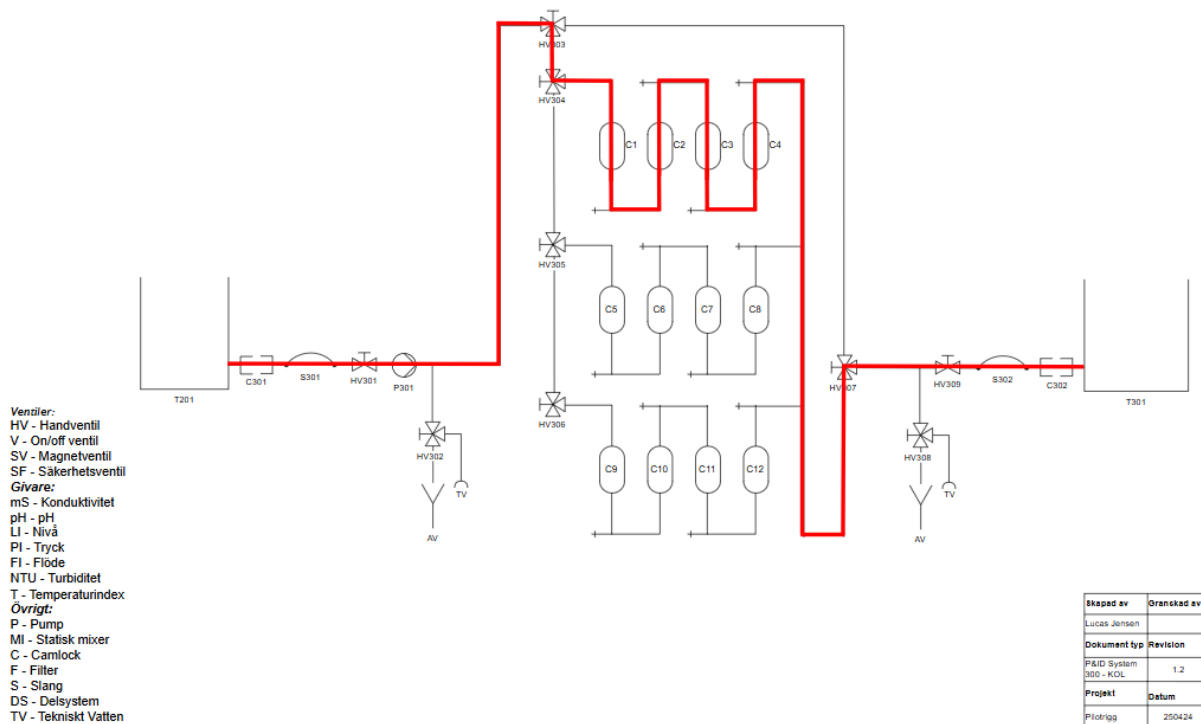
Figur 36 P&ID för kolfilterssystem

I vissa situationer kan kundens testvatten vara tillräckligt rent för att inte behöva genomgå den omfattande rening som kolfiltersystemet medför. Det kan bero på att vattnet redan uppfyller nödvändiga renhetskrav, eller att sådana krav inte är aktuella i det specifika fallet. Som illustrerat enligt Figur 37 kan operatören i dessa fall stänga handventilen HV303. Detta medför att pump P301 leder om vattnet förbi samtliga 12 kolkolonner. Vattnet leds därefter vidare till ventil HV307, där det antingen dirigeras vidare till nästa reningssteg eller till avloppet.



Figur 37 P&ID, omledning förbi kolkolonner

I andra fall kan det vara tillräckligt att endast en eller två serier av kolkolonner är aktiva, istället för alla tre. Detta kan vara aktuellt när volymen testvatten är så pass liten att det är tidsmässigt tillräckligt att köra det genom en eller två serier för att uppnå önskad rening. Parallellkoppling möjliggör även jämförelser mellan de olika serierna, genom att dessa kan fyllas med olika kolblandningar eller varierande mängder grus och sand. På så sätt kan Mellifig utvärdera och identifiera den optimala konfigurationen för respektive applikation. Figur 38 demonstrerar hur det kan se ut när endast en av tre serier är öppen.



Figur 38 P&ID, där en kolkolonn serie är aktiv

3.3.4 Konstruktion av kolfiltersystem

För att beräkna dimensionerna på kolonnerna framtogs formler baserade på parametrar som uppehållstid, flödes hastighet och hastighet. Eftersom uppehållstiden och flödes hastigheten var fasta parametrar, baserade på redan optimerade värden från Mellifiq, var det enbart kolonnernas diameter, höjd och antal som utgjorde de fria variablerna. Beräkningsgången, som beskrivs i stegen I-VI nedan enligt Tabell 6, visar hur volymerna beräknades. För att säkerställa ett tillräckligt antal mätpunkter för datainsamling och uppfylla designkraven krävdes flera iterationer, där olika kombinationer av volym och antal seriekopplade kolonner testades tills en lämplig konfiguration fastställdes.

Tabell 6 Beräkningsgång för dimensionering av kolkolonner

Steg	Beräkning	Kommentar
I.	$q = v \times A$ $q = v \times \left(\frac{\pi \times d^2}{4}\right)$ $q = 1,5 \times \left(\frac{\pi \times 0,004^2}{4}\right) = 0,01885 \text{ l/s}$	- I standardapplikationer rekommenderas en flödes hastighet på 1,5–2 m/s enligt (GPA Flowsystem AB, 2025) - Utifrån krav från Mellifiq används en slang med innerdiameter = 4 mm
II.	$Q = q \times t$ $Q = 0,01885 \times 3600 = 67,86 \text{ l/h}$	Omvandling från l/s till l/h
III.	$Q = \frac{67,86}{1000} = 0,06786 \text{ m}^3/\text{h}$	Då 1000 liter = 1 m ³
IV.	$V = Q \times EBCT$ $V = 0,06786 \times \frac{7}{60} = 0,00792 \text{ m}^3$	EBCT = Empty Bed Contact Time (Mellifiqs referensvärde = 7 min)
V.	$h = \frac{4 \times 0,00792}{\pi \times 0,05^2} = 4,034 \text{ m}$	d = PVC-rörets tvärsnittsdiameter vilken sätts till 50 mm pga kompatibilitet h = PVC-rörets höjd
VI.	$8 \times \left(\frac{\pi \times 0,05^2 \times 0,5}{4}\right) = 0,00785 \text{ m}^3$ $0,00791 \text{ m}^3 \approx 0,00785 \text{ m}^3$	Villkor för önskad flödes hastighet och EBCT uppfylls, om 8 kolonner med måtten h= 0,5m och b= 0,05m seriekopplas

Slutsatsen från beräkningarna är att det finns flera möjliga sätt att dimensionera både volymen och antalet kolonner. För att uppnå en uppehållstid på 7 minuter vid en flödes hastighet på 1,5 m/s krävs en total volym på cirka 0,00791 m³, vilket motsvarar 7,91 liter.

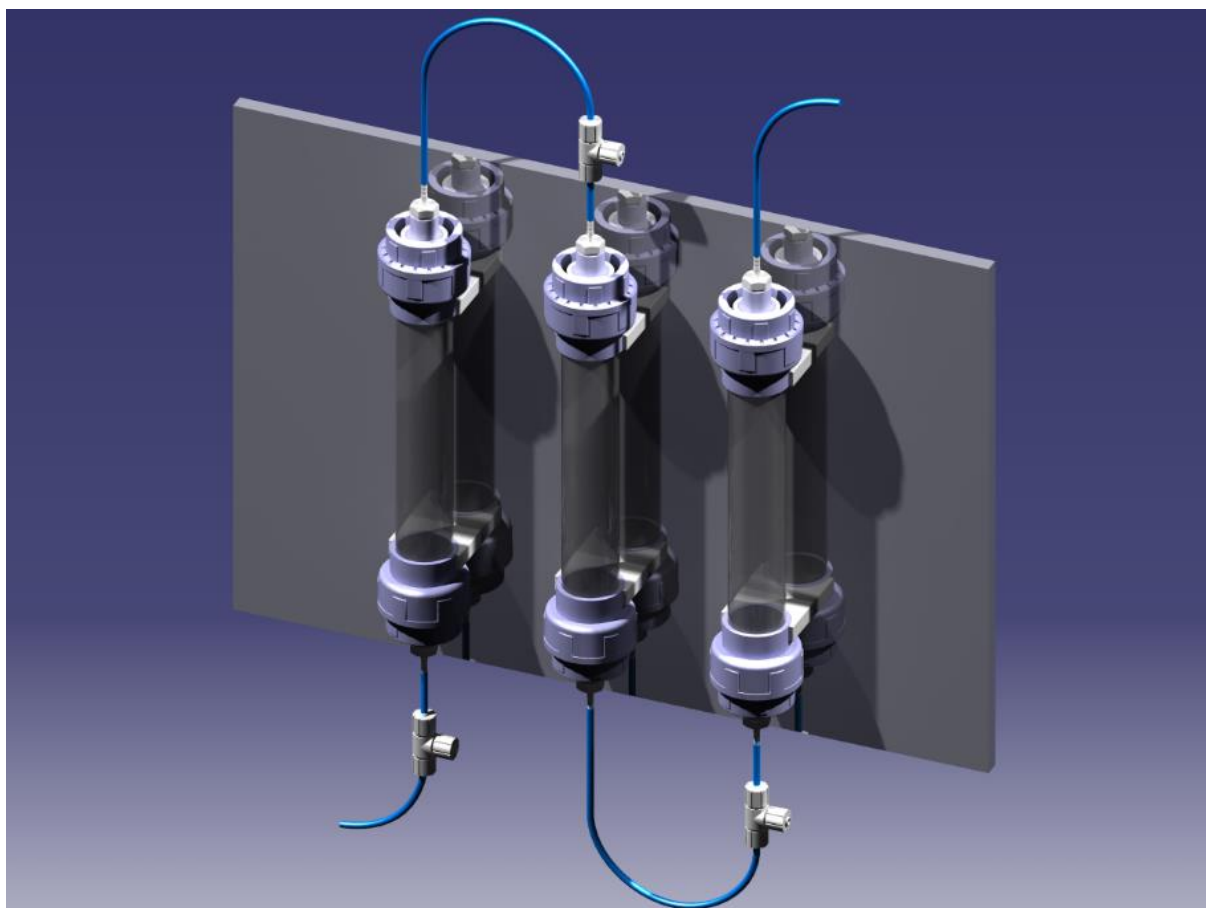
Denna volym kan exempelvis uppnås genom:

- 8 kolonner, vardera med en volym på 0,00098 m³ (totalt 7,84 liter)
- 3 kolonner, vardera med en volym på 0,00265 m³ (totalt 7,95 liter)

Valet av antal kolonner och deras individuella volym kan anpassas efter hur många mätpunkter som önskas i serien, vilket ger flexibilitet i systemets design.

När värdena för både slangens diameter och PVC-rörets diameter hade fastställts, kunde lämpliga mellanliggande komponenter sökas i kataloger. PVC-rörets diameter är 50 mm, medan slangens innerdiameter är 4 mm. Att hitta rätt komponenter som både uppfyller funktionella krav och sammanbinder dessa två dimensioner visade sig vara en utmaning, vilket underströk vikten av att använda sig av CAD-modellering i mjukvaran Catia (Dassault Systems, 2023).

Syftet med CAD-modellen var att extrahera alla delar från komponentlistan i Tabell 7 och sammanställa dem i modellen för att säkerställa att de är kompatibla med varandra. Arbets sättet liknar det som används på Mellifiqs kontor i Stockholm, där CAD-modeller används som ett verktyg för att förebygga onödiga extrakostnader som kan uppstå om komponenter inte passar ihop. En iteration av komponentlistan skedde i samband med sammanställningsritningen i Catia (Dassault Systems, 2023), då vissa komponenter behövdes bytas ut mot andra modeller eller dimensioner för att kunna sammanfogas. En del av komponenterna kunde hämtas direkt från GPA:s databas (GPA Flowsystem AB, 2025), medan andra behövde konstrueras manuellt med hjälp av ritningar eller specifika mått. Enligt Figur 39 presenteras en renderad bild av kolfiltersystemet.



Figur 39 Renderad CAD-modell av kolfiltersystemet

CAD-modellen är en förenklad representation av det verkliga systemet, som återges i P&ID-diagrammet. Medan P&ID-diagrammet visar fyra seriekopplade kolonner och tre parallella flödesvägar (4x3), innehåller CAD-modellen enbart tre seriekopplade kolonner. Denna förenkling genomfördes för att möjliggöra en mer detaljerad visualisering av systemet och ge en tydligare översikt över de ingående komponenterna. Flödet sträcker sig från det övre högra hörnet till det nedre vänstra hörnet.

En Excellista upprättades för att samordna samtliga ingående komponenter. Listan är baserad på en enskild kolkolonn och specificerar vilka komponenter som krävs per kolkolonn. Modellnummer och dimensioner överensstämmer med informationen från GPA:s (GPA Flowsystem AB, 2025), Ahlsell:s (Ahlsell Sverige AB, 2025) och Esska:s (Esska of Sweden AB, 2025) sortiment. En kompatibilitetsvalidering har utförts i Catia (Dassault Systems, 2023) för att verifiera att samtliga komponenter sitter ihop korrekt. Om Mellifig väljer att gå vidare med detta koncept behöver företaget endast inventera vilka komponenter som redan finns

tillgängliga samt kartlägga kostnaden för de som saknas. Detta kan utföras med hjälp av komponentlistan enligt Tabell 7.

Tabell 7 Excellista på kolfiltersystemets ingående komponenter

Rör/slang/kopplingar/annat som behövs per kolkolonn							
Beteckning	Beskrivning	Modell/nr	Antal	Leverantör	Finns [Ja/Nej]	Storlek	Offert
Transparent PVC rör	Rör	TRPK0...	1st	GPA		d=50mm	
PVC-U union / koppling	Koppling	UN8OU-050	2st	GPA		d=50mm	
PVC-U kraghylsa plan	Kraghylsa	ST1OU-032	2st	GPA		d=32mm	
PVC-U bussning	Bussning	DIV032-020	2st	GPA		d=32mm, d1=20mm	
Övergångsmuff PVC-U	Muff	721910434	2st	Ahlsell		d=20mm, 3/8" gänga	
Slangsockel rak utv gänga	Slangsockel	AFM004-R008	2st	GPA		3/8" gänga	
Union T-rör	T-koppling	1B30010	1st	GPA		10/4mm	
PVDF-slang	Slang	PVDF0402N-010	ca 50 cm	GPA		d=6mm, di=4mm	
Rörklammer klip-it	Rörklammer	2823249	2st	Ahlsell		d=50mm	
Kompakt avtappningskran	Tappkran	850-005301000	1st	Esska		3/4" gänga	
Övergångsmuff PVC-U	Muff	rnkX22131006	1st	Esska		3/4" till 1/2" gänga	
Slangsockel rak utv gänga	Slangsockel	GTXP15541002	1st	Esska		1/2" gänga	
Slangklämma norma s	Slangklämma	857-311089806	2st	Esska		dnom=6mm	

4. Slutsatser

Examensarbetet har haft som mål att utveckla en mobil och modulär testrigg för vattenrening med hjälp av elektrokoagulering (EC) och kolfiltrering, i nära samarbete med Mellifiq. Syftet var att skapa ett system som möjliggör både teknisk utvärdering och pedagogisk demonstration av företagets reningstekniker i pilotskala. Trots en ambitiös planering och omfattande arbetsinsats kunde den fysiska konstruktionen av riggen inte slutföras inom projektets tidsram. Den främsta orsaken till detta var långa ledtider från leverantörer och sena leveranser av kritiska komponenter, vilket gjorde att byggfasen inte kunde påbörjas i tid. Detta reflekterades även i det framtagna Gantt-schemat i den inledande delen av projektet, som i ett tidigt skede visade att projektet låg efter plan.

Trots detta har projektet resulterat i ett komplett och genomarbetat konstruktionsunderlag. Detta inkluderar detaljerade processflödesscheman (PFD), Piping & Instrumentation Diagrams (P&ID), komponentlistor, hållfasthetsberäkningar med FEM-analys, samt CAD-modeller och tryckfallsberäkningar för de centrala processtegen. Designen har genomgått flera iterationer för att optimera systemet utifrån funktion, användarvänlighet och säkerhet.

Under projektets gång har också viktiga avgränsningar identifierats. Ozoneringsdelen, som initialt ingick i den tänkta projektomfattningen, visade sig vara för omfattande för att inkluderas utan att kompromissa med kvaliteten i övriga delar. Därför ströks denna del efter samråd med handledare och företaget, vilket gjorde det möjligt att fokusera mer på kärnprocesserna elektrokoagulering och kolfiltrering.

Särskilt inom kolfiltreringsdelen kunde flera värdefulla insikter göras. Rapportens teoretiska analys visar att kolfiltrering lämpar sig mycket väl för labbskala, då mindre flöden och volymer ger tydligare genombrottskurvor och gör det möjligt att studera adsorptionskapacitet mer detaljerat. Detta stärker validiteten i systemets utformning, då det ger möjlighet till högupplöst datainsamling och bättre förståelse för reningsgradens utveckling längs kolonnserien.

Sammantaget har examensarbetet, trots den uteblivna byggfasen, resulterat i en robust och väl dokumenterad lösning som Mellifiq med fördel kan färdigställa. Systemets design har potential att bli ett effektivt verktyg både för processutveckling, intern kunskapshöjning och

kunddemonstration. Projektet har därmed uppfyllt stora delar av sitt syfte och skapat ett värdefullt underlag för fortsatt arbete.

Förslag till fortsatt arbete är givetvis färdigställandet av testtriggen samt att utföra tester och verifieringar kopplade till de funktionsbaserade kraven. Detta kräver att testtriggen är byggd och funktionell som en driftsatt anläggning. Apparatskåp med all elektrisk utrustning tillsammans med styrsystemet är under utveckling och kommer att produceras efter detta projekt är avslutat.

Litteraturförteckning

- Ahlsell Sverige AB. (den 07 05 2025). *Ahlsell*. Hämtat från PVC-U: <https://www.ahlsell.se/>
- Alder, G. (den 14 04 2025). *draw.io is a JavaScript, client-side editor for general diagramming*. Hämtat från Security-first diagramming for teams: <https://www.drawio.com/>
- Ansys. (2023). Granta EduPack. Canonsburg, PA, USA.
- Ansys. (2024). Mechanical - Finite Element Analysis. Canonsburg, USA.
- Cengel, Y. A., Cimbala, J., & Turner, R. H. (2017). *Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences*. New York: McGraw-Hill Education.
- Chen, G., A. Ekama, G., van Loosdrecht, M., & Brdjanovic, D. (2020). *Biological wastewater treatment*. London: IWA Publishing.
- Dassault Systèmes SolidWorks Corporation. (2023). Solid Works. Waltham, USA.
- Dassault Systems. (2023). Catia V5. Vélizy-Villacoublay, Paris, Frankrike.
- Esska of Sweden AB. (den 07 05 2025). *Esska*. Hämtat från Slangar: <https://www.esska.se/shop/Slangar--830>
- Georg Fisher AB. (den 28 04 2025). *GF Piping systems*. Hämtat från PVC-U: <https://www.gfps.com/sv-se.html>
- GODWIN, A. D. (2000). PLASTICIZERS. i A. D. GODWIN, *Applied Polymer Science: 21st Century* (ss. 157-175). Pergamon: Elsevier Science. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-008043417-9/50011-8>
- GPA Flowsystem AB. (den 7 5 2025). *GPA*. Hämtat från PVC-U: <https://www.gpa.se/>
- iso.org. (2014). *Online browsing platform*. Hämtat från ISO 10628-1:2014(en) Diagrams for the chemical and petrochemical industry: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:10628:-1:ed-1:v1:en>
- Lindstedt P, B. J. (2016). *The Value Model: How to Master Product development and Create Unrivalled Customer Value*. Elanders Sverige AB.
- López-Guzmán, M., Flores-Hidalgo, M., & Reynoso-Cuevas, L. (2021). Electrocoagulation Process: An Approach to Continuous Processes, Reactors Design, Pharmaceuticals Removal, and Hybrid Systems—A Review. *Processes*, 9(10), 1831. doi:<https://doi.org/10.3390/pr9101831>
- Perrich, J. R. (1981). *Activated carbon adsorption for wastewater treatment*. CRC Press.
- VVS Information Data AB. (den 29 04 2025). *RSK-Databasen*. Hämtat från <https://www.rskdatabasen.se/>

INSTITUTIONEN FÖR Kemi och Kemiteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2025
www.chalmers.se

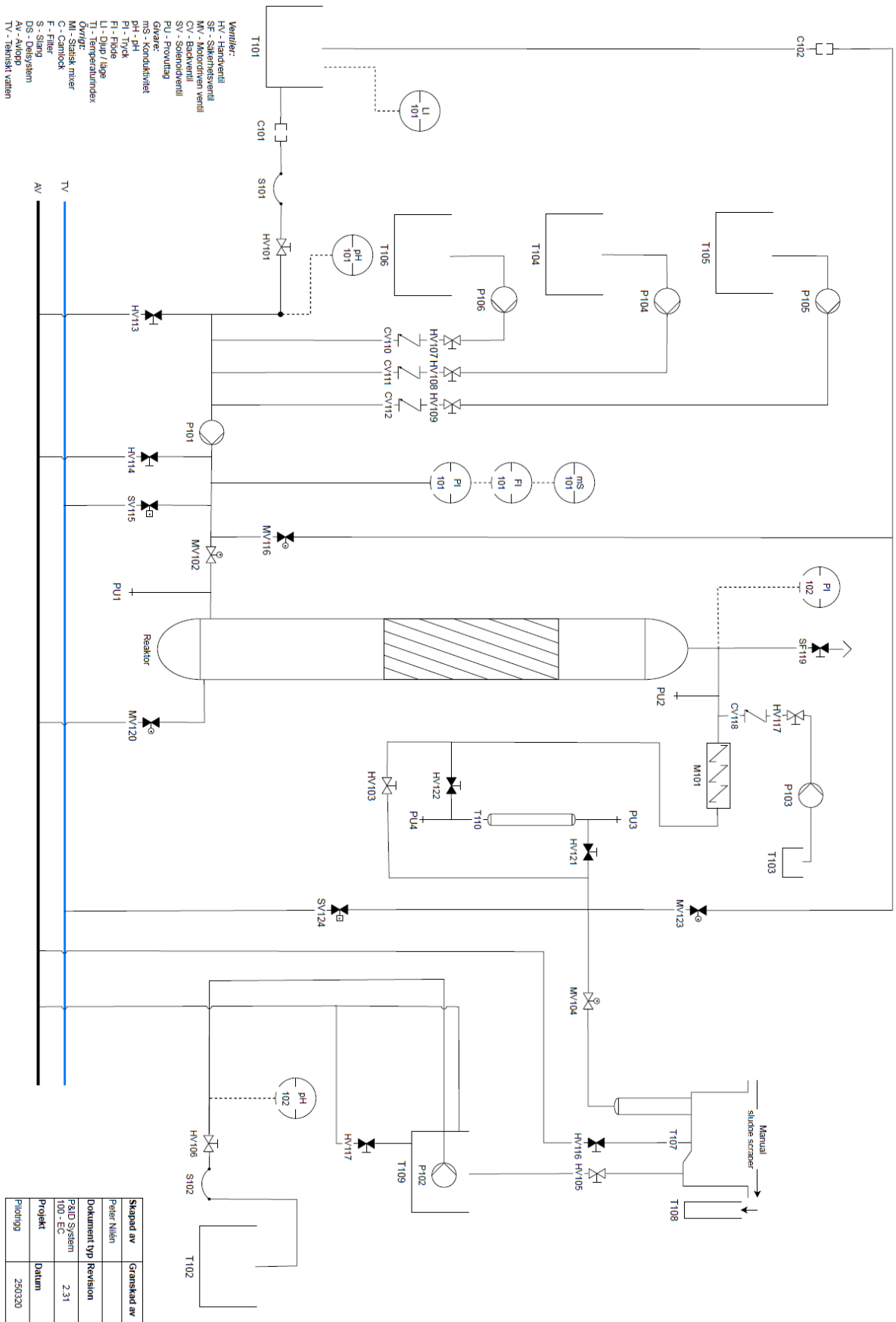


CHALMERS

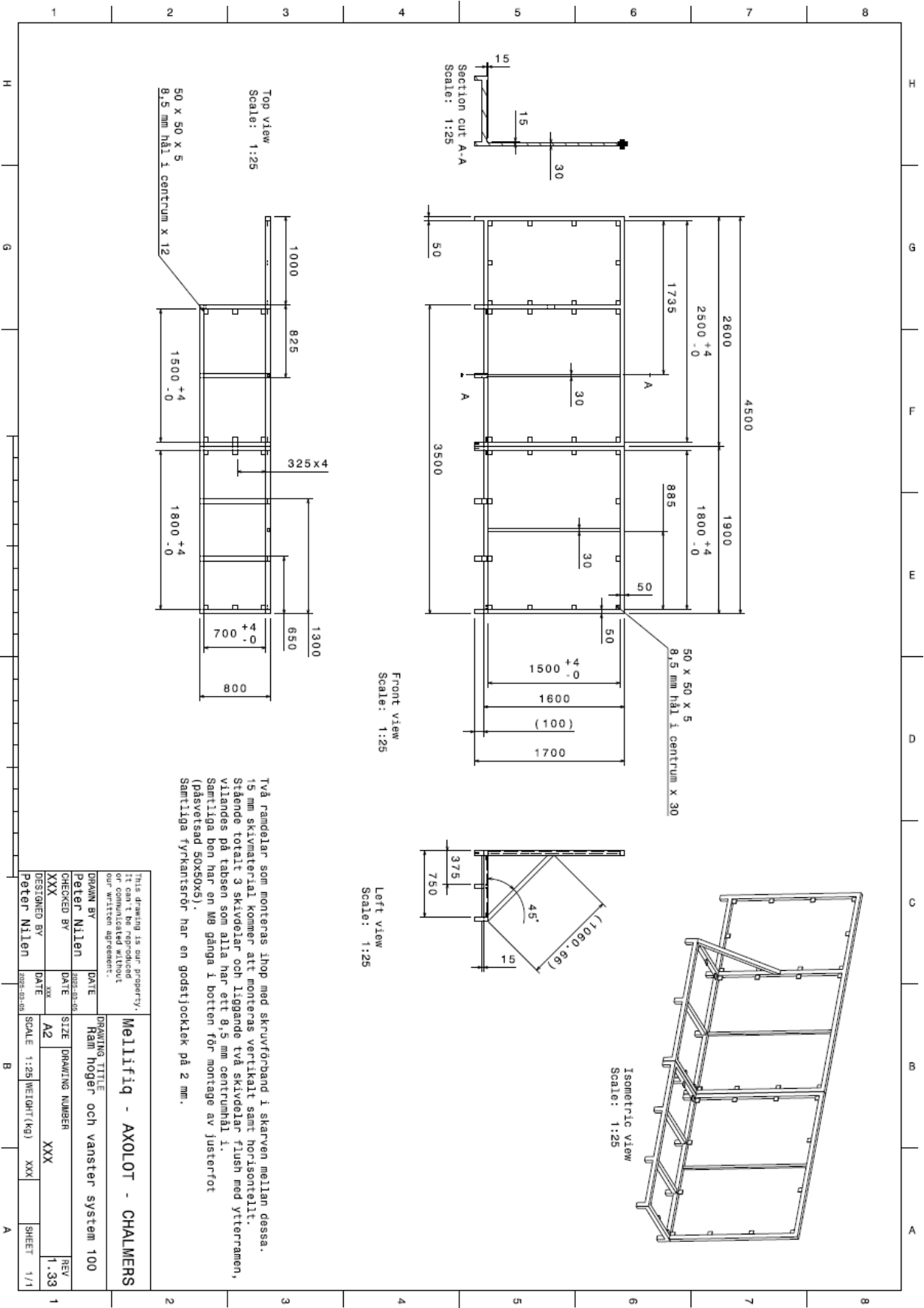
Bilaga 1. Kravspecifikation

Chalmers		Kravspecifikation		Utfärdare: Lucas Jensen / Peter Nilén		Skapad: 2025-02-06	
		Modulär vattenreningsrigg				Modifierad: 20250502	
Kriterier	Målvärde	K/Ö	Vikt	Verifieringsmetod	Referens (kravställare)		
Funktionella funktion(er)							
HF	Rena kundens förorenade vatten			Produkttest	Mellifiq		
SF	Möjliggör hantering			Produkttest	Mellifiq		
SF	Avlägsna slam			Produkttest	Mellifiq		
SF	Underlätta justering av parametrar			Produkttest	Mellifiq		
SF	Underlätta handhavande			Produkttest	Mellifiq		
OF	Ökad vikt			Produkttest	Mellifiq		
OF	Ökad storlek			Produkttest	Mellifiq		
SF	Möjliggör reaktorbyte			Produkttest	Mellifiq		
SF	Motstå mekaniska belastningar			Produkttest	Mellifiq		
Icke funktionella funktion(er)							
	Uttrycka robusthet			Subjektivitet	Mellifiq		
	Uttrycka professionalism			Subjektivitet	Mellifiq		
1. Prestanda							
1.1	Flödes hastighet	500 - 1000 liter per timme	K		Flödesberäkning	Mellifiq	
1.2	Max systemtryck	1,5 bar	K		Flödesberäkning	Mellifiq	
1.3	Elektrisk spänning	30 V	Ö	4	EH-lära / beräkningar	Mellifiq	
1.4	Elektrisk ström	250 A	Ö	4	EH-lära / beräkningar	Mellifiq	
1.5	Konduktivitet	0,1-10 mS/cm	K		EH-lära / beräkningar	Mellifiq	
1.6	Uppehållstid flotation	10 min	K		Flödesberäkning	Mellifiq	
1.7	Tryckfall	< 5000 Pa	K		Tryckfallsberäkning	Projektgrupp	
1.8	Skydd mot plasticering	Säkerhetsfaktor > 3	K		FEM-analys	Projektgrupp	
1.9	Temperatur	Vattentemperatur < 80°C	K		Temperaturmätning	Projektgrupp	
2. Gränsvärden för kemikalier							
2.1	Natriumhydroxid (bas)	25%	K		Tidigare prov	Mellifiq	
2.2	Svavelsyra/saltsyra (syra)	25-40%	K		Tidigare prov	Mellifiq	
2.3	Väteperoxid (oxidationsmedel)	40%	K		Tidigare prov	Mellifiq	
2.4	Koncentration av alkaliskt-surt-rengöringsmedel i CIP	1-5%	K		Litteraturstudie	Mellifiq	
2.5	pH-värde:	Min pH = 0 Max pH = 14	K		Litteraturstudie	Mellifiq	
3. Livslängd							
3.1	Livslängd	> 5 års användning	Ö	4	Utmattningsprov	Projektgrupp	
4. Storlek							
4.1	Max volym rigg	44 kubikmeter	Ö	3	Dimensionering	Projektgrupp	
4.2	Min volym tank in och ut	1000 L	Ö	3	Dimensionering	Projektgrupp	
5. Ergonomi							
5.1	Korrekt arbetshöjd	Tungt arbete: 850 mm från marken	K		Konstruktion	AMS - Arbetsmiljölagen (1977:1160)	
5.2	Truckanpassad för tunga lyft		Ö	3	Konstruktion	Projektgrupp	
6. Säkerhet							
6.1	Säkerhetsskyltar och varningsymboler enligt ISO7010		K			ISO7010	
6.2	Automatiserade säkerhetssystem		Ö	3	Programmering i	Projektgrupp	
7. Design							
7.1	Instrument symboler och identifikationer		K			ISA-5.1	
7.2	Överskådligt system		Ö	3	Ritning / CAD-modell	Projektgrupp	
8. Layout							
8.1	CIP-tank måste vara placerad under EC		Ö	3	Ritning / CAD-modell	Projektgrupp	
8.2	Alla delsystem ska vara försörjade med el och vatten		K		Ritning / CAD-modell	Projektgrupp	
8.3	Flödes hastigheten ska vara den samma i parallella rör		Ö	3	FI - flödesindikator	Projektgrupp	
9. Kompatibilitet							
9.1	Kompatibilitet med befintliga Mellifiq produkter		Ö	3	Inventering	Projektgrupp	
9.2	Kompatibilitet med standardiserade komponenter		Ö	3	Planering	Projektgrupp	
10. Material							
10.1	Kemikalieresistens	Motståndskraftig mot syra / bas	K		Materialdata EduPack	Projektgrupp	
10.2	Hållbart (mot tryck, slitage och temperaturvariationer)	Arbetsstryck och yttre krafter	K		Hållfasthetsberäkning	Projektgrupp	
10.3	Korrosionsbeständighet		K		Materialdata EduPack	Projektgrupp	
11. Underhåll							
11.1	Tillräckligt antal CIP-anslutningar för att möjliggöra rengöring i alla delsystem		K		Ritning / CAD-modell	Projektgrupp	
11.2	Ska enkelt kunna byta ut komponenter vid behov		Ö	3	Test	Projektgrupp	
12. Återvinning / destruktion							
12.1	Återvinning av material		Ö	3	Design för återvinnig	Projektgrupp	
	ISO14001						
12.2	Återvinning av kemikalier		Ö	3	Design för återvinnig	Projektgrupp	
	ISO14001						
12.3	Hantering av farligt avfall enligt Avfallsförordningen		K		Design för återvinnig	Projektgrupp	
	Avfallsförordningen (2011:927)						
13. Standarder och lagkav							
13.1	Inga föroreningar som kan skada miljön får släppas ut i vattendrag eller mark		K		Kontrollmätning drift	Projektgrupp	
	Miljöbalken (1998:808)						
13.2	Kemikalier måste hanteras, märkas och lagras enligt Kemikalielagen		K		Kontroll Byggnation	Projektgrupp	
	Kemikalielagen (1999:658)						
14. Patent och litteratur							
14.1	Får ej använda, tillverka eller sälja en patentskyddad uppfinning utan tillstånd från patentinnehavaren		K		Patentsökning	Projektgrupp	

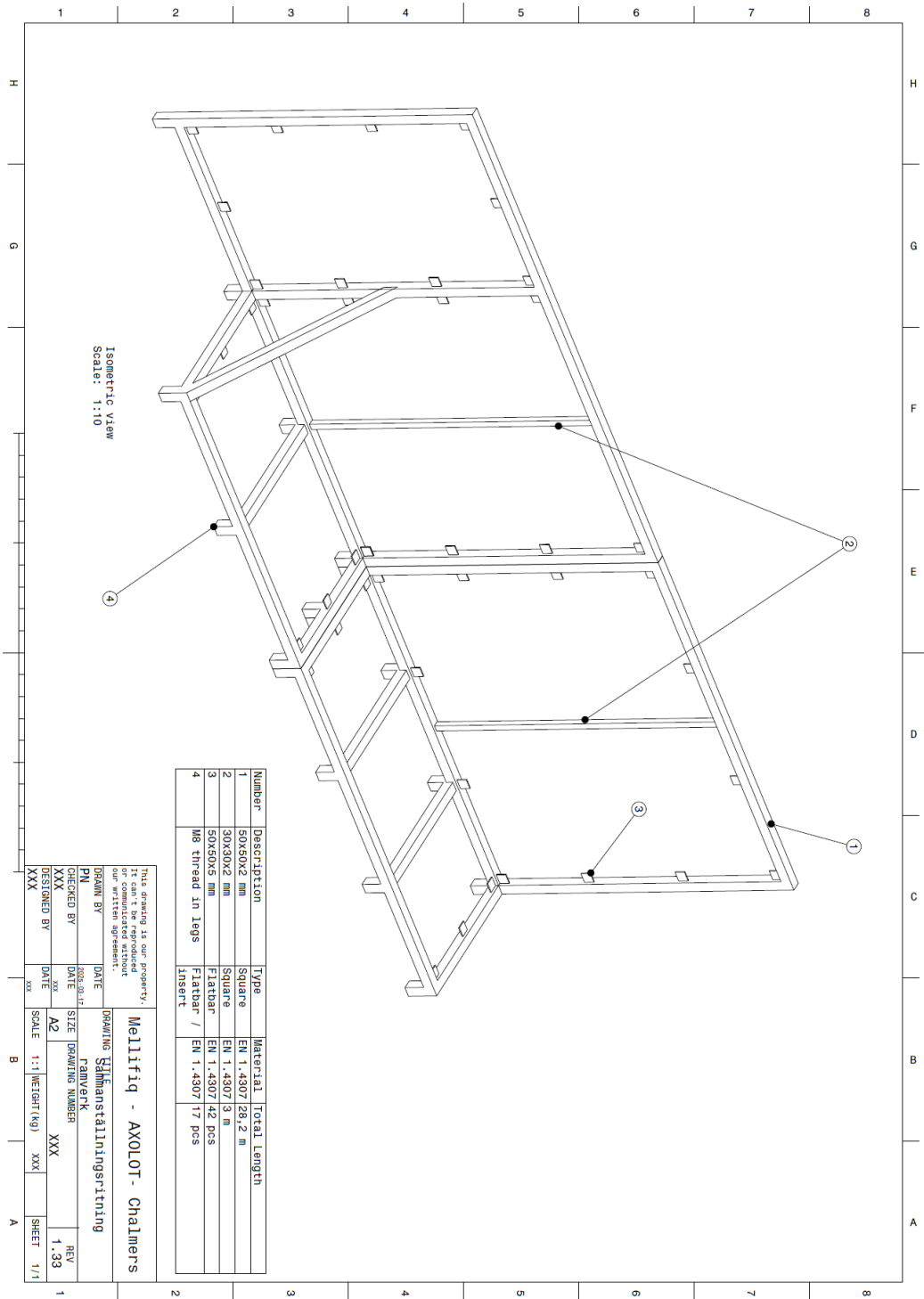
Bilaga 2. PID



Bilaga 3. Måttsatt detaljritning



Bilaga 4. Sammanställningsritning



Number	Description	Type	Material	Total Length
1	50x50x2 mm	Square	EN 1.4307	28,2 m
2	30x30x2 mm	Square	EN 1.4307	3 m
3	50x50x5 mm	Flatbar	EN 1.4307	42 pcs
4	M8 thread in legs	Flatbar / Insert	EN 1.4307	17 pcs

This drawing is our property. It can't be reproduced or written agreement.

DRAWING: Sammanställningsritning	
DESIGNED BY: PN	DATE: xxx
CHECKED BY: xxx	DATE: xxx
DESIGNED BY: xxx	DATE: xxx
SCALE: 1:1 (WEIGHT(kg))	XXX
SHEET: 1/1	REV: 1.33

Bilaga 5. Komponentlista sida 1(2)

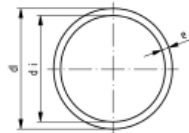
Motor/pumpar									
Beteckning	Beskrivning	Modell/nr	Finns [Ja/Nej]	Effekt [kW]			Offert	Kost	Manual [Ja/Nej]
P101	Skrumpump huvudflöde	MAF SE32BA	Ja	1,5				0	
P102	Dränkpump till T102		Nej (Gammal finns)	0,25				1015	
P103	Doserpump polymerlösning	Spectra 12/100 F	Ja	0,4				0	
P104	Doserpump syra	Pahlén	Ja					0	
P105	Doserpump lut	Pahlén	Ja					0	
P106	Doserpump väteperoxid	Pahlén	Ja					0	
							SA	1015	
Instrument									
Beteckning	Beskrivning	Modell/nr	Finns [Ja/Nej]	Storlek			Offert	Kost	Manual [Ja/Nej]
LI 101	Nivågivare T101	P53607	Ja						Ja
PI 101	Tryckgivare innan reaktor	PL1506	Ja						Ja
FI 101	Flödegivare innan reaktor	SA4100	Ja						Ja
mS 101	Konduktivitetgivare innan reaktor	LDL100	Ja						Ja
PI 102 (=103)	Tryckgivare efter reaktor	PL1506	Ja					0	Ja
pH 101	pH-givare ingående JUMO	00621059	Nej				218EUR	2398	
ph-givare inkoppling	y koppling fr mellifliq		Ja						
pH 102 (=103)	pH-givare utgående JUMO	00621059	Nej				41EUR	451	
	pH kablage JUMO	00082673	/st						
Transmitter pH x 2	JUMO ecoTRANS pH 03	00508665	/st				318EUR	3498	
Aramatur pH x 2	Genomflödesarmatur JUMO	00416457	/st	Ersätts av Mellifliq			207EUR	2277	
Pluggar till aramatur x 2									
							SA	8624	
Ventiler									
Beteckning	Beskrivning	Modell/nr	Typ	Leverantör	Finns [Ja/Nej]	Storlek	Offert	Kost	Manual [Ja/Nej]
HV101	Avstängningsventil från Tank	Bevo - 0112102	Kulventil HAND	BEVO		DN25	248	71,92	
MV102	CIRK / OP	Bevo - 7018923	Kulventil Don	BEVO		DN25	9775	2834,75	
HV103	TEST/OP	Bevo - 0112102	Kulventil HAND	BEVO		DN25	248	71,92	
MV104	Spolning / OP	Bevo - 7018923	Kulventil Don	BEVO		DN25	9775	2834,75	
HV105	Avstängning flotation pump tank	Bevo - 0112102	Kulventil HAND	BEVO		DN25	248	71,92	
HV106	Avstängning droppskydd T102	Bevo - 0112102	Kulventil HAND	BEVO		DN25	248	71,92	
HV107	Avs Syra	Bevo - 0112100	Kulventil HAND	BEVO		DN15	186	53,94	
HV108	Avs Lut	Bevo - 0112100	Kulventil HAND	BEVO		DN15	186	53,94	
HV109	Avs Väteperoxid	Bevo - 0112100	Kulventil HAND	BEVO		DN15	186	53,94	
CV110	CV Syra	Bevo - 0111539	Backventil	BEVO		DN15	329	95,41	
CV111	CV Lut	Bevo - 0111539	Backventil	BEVO		DN15	329	95,41	
CV112	CV Väteperoxid	Bevo - 0111539	Backventil	BEVO		DN15	329	95,41	
HV113	Drän T101	Bevo - 0112102	Kulventil HAND	BEVO		DN25	248	71,92	
HV114	Drän cirk	Bevo - 0112102	Kulventil HAND	BEVO		DN25	248	71,92	
SV115	Spolning	Bücker - 6281	Magnetventil	Bücker		DN15	1350	675	
MV116	Cirk / OP	Bevo - 7018923	Kulventil Don	BEVO		DN25	9775	2834,75	
PU1	Ingång reaktor	Bevo - 0112100	Kulventil HAND	BEVO		DN15	186	53,94	
PU2	Utgång reaktor	Bevo - 0112100	Kulventil HAND	BEVO		DN15	186	53,94	
PU3	Toppen kolonn	Bevo - 0112100	Kulventil HAND	BEVO		DN15	186	53,94	
PU4	Botten kolonn	Bevo - 0112100	Kulventil HAND	BEVO		DN15	186	53,94	
HV117	Avstängning Polymer	Bevo - 0112100	Kulventil HAND	BEVO		DN15	186	53,94	
CV118	CV polymer	Bevo - 0111539	Backventil	BEVO		DN15	329	95,41	
SF119	Reaktor topp	GF - 861991002	Vent / Auluft	FREDRIK BEVO?		DN15	1000	1000	
MV120	Drän reaktor	Bevo - 7018923	Kulventil Don	BEVO		DN25	9775	2834,75	
HV121	Utgång provtagningscell	Bevo - 0112102	Kulventil HAND	BEVO		DN25	248	71,92	
HV122	Ingång provtagningscell	Bevo - 0112102	Kulventil HAND	BEVO		DN25	248	71,92	
MV123	Cirkulation / backspolning till T101	Bevo - 7018923	Kulventil Don	BEVO		DN25	9775	2834,75	
SV124	TV till backspolning	Bücker - 6281	Magnetventil	Bücker		DN15	1350	675	
HV125	Dränering pump tank	Bevo - 0112102	Kulventil HAND	BEVO		DN25	248	71,92	
HV126	Dränering flotation	Bevo - 0112102	Kulventil HAND	BEVO		DN25	248	71,92	
Rör/slang/kopplingar/annat									
Beteckning	Beskrivning	Modell/nr	Antal	Leverantör	Finns [Ja/Nej]	Storlek	Offert	Totalt behov	
S101	Slang					DN25		3m	
S102	Slang					DN25		3m	
Ammerad DN 25 slang finns massor	Slang					DN25			
T koppling PTFE	Injektion								
PTFE slang kem	PTFE slang	GPA - PTFE0604N-Q25		GPA	delvis	4/6 mm			
PVDF instrument koppling gpa till doserpumpar kem						4/6 mm			
M101	Statisk mixer				JA	DN25		1	
C101	Camlockinfästning från IBC till 1" camlock							2	
	Camlock 1" hane ext gång	GF 200016447						3	
	Adapter 1" inre gång till DN25 lim (32 yttre)	GF 721900408						3	
	Camlock hona 1" till slang	GF 200016468						3	
C102	Slanganslutning rör till slang mellan Cirkulation och Retur IBC, på vägg för att montera slangen till IBC							1	
Typ									
PVC-U rör	PVC-U SDR13.6 PN16 grå	161017106	2m			DN15		2m	
PVC-U rör	PVC-U SDR13.6 PN16	161017108	20 m			DN25		20m	
PVC-U 90 böj	Vinkel 90° PVC-U metrisk / BS	721100108	20 st			DN25		20st	
PVC-U T rör	T-rör 90° PVC-U metrisk / BS	721200108	10			DN25		10st	
PVC-U union / koppling	Koppling, PVC-U SF	GF 2271054/721510183	10 st			DN25		10st	
Svep till reaktor	Ingen lokaliserad		2 st			440mm		2st	
Svep till rör DN25 (32 yttre)	Rörklammer KLIP-IT 061 PP	167061038	30 st			DN25		30	
Svep till rör 15	Rörklammer KLIP-IT 061 PP	167061036	15			DN15		15	
Camlock Hane			8			DN25			
Camlock Hona			8			DN25			

Bilaga 5. Komponentlista sida 2 (2)

Special (inkoppling)	förhållande - förklaring	RSK	Antal behov	Övrig info	Finns [Ja/Nej]	Lev	Totalt behov
Inlopp/utlopp skruvpump	Kraghysa DN50	GF 2275519	2			GF	2
	lösfläns DN50	GF 3103264	2			GF	2
	Förminskning 63 OD till 32 OD	GF 2262556	2			GF	2
Injektion av Syra , bas väpne	T stycke med DN25 (32 inner) main, 25 inner på avtapp	GF 2264299	4			GF	4
	1/2 ytter till 1/4 ytter förminskning ytter gäng	GPA NRFM R015-R008	4			GPA	4
	lim 25mm ytter till gäng inner 1/2"	GF 2268639	4			GF	4
Montering ldl100	rp 1/2 till R1"	GF 721910842	1			GF	1
	rp 1" till 32 inre	GF 2267243	1			GF	1
	T rör 32 ID dn25	GF 2264042	1			GF	1
Montering tryckgivare	rp 1/2 till R1"	GF 721910842	2			GF	2
	T rör DN25 main 1" inngång på avstick	GF2266054	2			GF	2
Anslutning 2st ventil SV VATTEN	Krankoppling hona 1/2 "	typ gardena	2			Ahlsell	2
	R 1/2" hane hane	GF 2277028	2			GF	2
	SV ventil						
	R 1/2" hane hane	GF 2277028	2			GF	2
	rp 1/2 till R1"	GF 721910842	2			GF	2
	T rör DN25 main 1" inngång på avstick	GF2266054	2			GF	2
	Slang från fast installation (gardena)	standard	5m				5m
	Krankoppling hona 1/2 "	typ gardena	2			Ahlsell	2
	Snabbkoppling hona	typ gardena	4			Ahlsell	4
Anslutning av 1st MV DN50	Kraghysa DN50	GF 2275519	2			GF	10
	lösfläns DN50	GF 3103264	2			GF	10
	Förminskning 63 OD till 32 OD	GF 2262556	2			GF	10
Inkoppling ingång reaktor 1 1/4"	lim x inv gäng union 1 1/4"	GF 2271450	1			GF	1
	förminskning lim lim 40 - 32	GF 2268258	1			GF	1
Inkoppling Drän reaktor 2" nippel	lim inv gäng union 2"	GF 2271476	1			GF	1
	Förminskning pro fit	GF 2262556	1			GF	1
Inkoppling utlopp reaktor 1 1/4"	lim x inv gäng union 1 1/4"	GF 2271450	1			GF	1
	förminskning lim lim 40 - 32	GF 2268258	1			GF	1
Slanganslutning Polymerpump	Push lock rak nippel 1/4"	Festo 4052568060442	2			Festo	2
	Push lock 90 gr nippel 1/4"	Festo 4052568059866	2			Festo	2
Polymerslang koppl	L vinkel koppling	Festo 153071	5			Festo	10
Inkoppl av stubbe (FI) DN15 polymer	Push lock rak nippel 1/4"	Festo 4052568060442	2			Festo	2
	förm 12 - 1/4" lim gäng	GF 2268605	2			GF	2
	förm pro fit lim lim	GF 2262543	2			GF	2

Datablad

Giltig från: 2025-04-23



Rör PVC-U grå metrisk / BS

Utförande:

- Material: PVC-U
- Mått: enligt DIN 8061/62
- Färg: mörkgrå RAL 7011
- Rörlängd: 5000m, med släta ändar
- * SDR11
- **Not 1:** DIBT Z-40.23-4 godkännande
- **Not 3:** DVGW godkännande + DIN plus
- Observera: Tryckklassning avser drifttemperatur vid 20°C. Högre temperatur och aggressivt flödesmedie minskar tryckbelastningen (se ovan DIN och vår tekniska dokumentation). Tryckbelastningskapaciteten måste bestämmas med hänsyn till säkerhetskraven för respektive tillämpningar och beräknas i enlighet med kraven.
- Mått: BS EN 1452 Part 1 & 2 (formerly BS 3505)

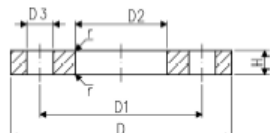
Note	d (mm)	d tum (inch)	SDR	PN (bar)	Artikelnr.	RSK	Vikt (kg/m)	e (mm)	di (mm)
*	12,0		11	16	161 017 104	225 25 47	0,062	1,1	9,8
1,3	16,0		13,6	16	161 017 105	225 25 48	0,091	1,2	13,6
1,3	20,0		13,6	16	161 017 106	225 25 49	0,139	1,5	17,0
1,3	25,0		13,6	16	161 017 107	225 25 50	0,215	1,9	21,2
1,3	32,0		13,6	16	161 017 108	225 25 51	0,347	2,4	27,2
1,3	40,0		13,6	16	161 017 109	225 25 52	0,533	3,0	34,0
1,3	50,0		13,6	16	161 017 110	225 25 53	0,821	3,7	42,6
1,3	63,0		13,6	16	161 017 111	225 25 54	1,310	4,7	53,6
*	75,0	2 1/4	13,6	16	161 017 112	225 25 55	1,850	5,6	58,2
1,3	90,0		13,6	16	161 017 113	225 25 56	2,640	6,7	76,6
1,3	110,0		13,6	16	161 017 114	225 25 57	3,910	8,1	93,8
1,3	125,0		13,6	16	161 017 115	225 25 58	5,040	9,2	106,6
*	140,0	4	13,6	16	161 017 116	225 25 59	6,030	10,3	119,4
1,3	160,0		13,6	16	161 017 117	225 25 60	8,230	11,8	136,4
	17,1	3/4		15	161 018 080		0,114	1,5	14,1
	21,3	1/2		15	161 018 082		0,161	1,7	17,9
	26,7	3/4		15	161 018 083		0,225	1,9	22,9
	33,4	1		15	161 018 084		0,325	2,2	29,0
	42,2	1 1/4		15	161 018 085		0,503	2,7	36,8
	48,3	1 1/2		15	161 018 086		0,659	3,1	42,1
	60,3	2		15	161 018 087		1,038	3,9	52,5
	88,9	3		15	161 018 088		2,245	5,7	77,5
	114,3	4		15	161 018 089		3,667	7,3	99,7

Tekniska data är ej bindande. De utgör varken uttryckligen garanterade prestanda eller garanterade egenskaper eller en garanterad hållbarhet. Förbehåll för ändringar. I övrigt gäller våra allmänna försäljningsvillkor.

Georg Fischer Piping Systems Ltd, Postfach, CH-8201 Schaffhausen/Switzerland Phone +41 -(0)52-631 1111 e-mail: info.ps@georgfischer.com Internet: http://www.gfps.com

Datablad

Giltig från: 2024-08-12



Flänsar PVC-U

Utförande:

- För muffsystem metrisk och BS
- Metrisk: ISO 7005, EN 1092, ISO 9624
- ASME: ANSI/ASME B 16.5 class 150, ASTM D2024, BS 1560, BS EN 1759
- Max medie- eller omgivningstemperatur +45°C

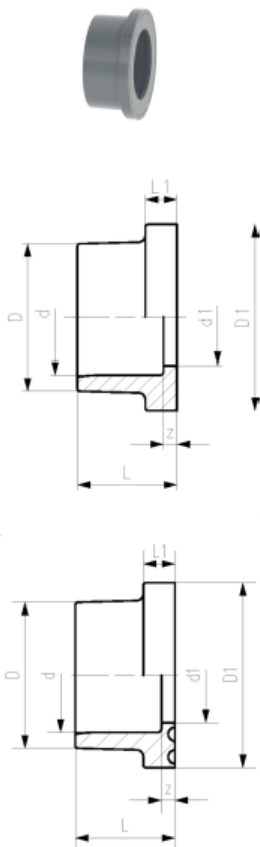
AL: antal hål
1) Ej för BS

d	DN	Tum	PN	Standa	Bultdelning	Design	
(mm)	(mm)	(inch)	(bar)				
16	10	3/8	10	Metrisk	PN10	Muff	
20	15	1/2	10	Metrisk	PN10	Stum/Muff	
25	20	3/4	10	Metrisk	PN10	Stum/Muff	
32	25	1	10	Metrisk	PN10	Stum/Muff	
40	32	1 1/4	10	Metrisk	PN10	Stum/Muff	
50	40	1 1/2	10	Metrisk	PN10	Stum/Muff	
63	50	2	10	Metrisk	PN10	Stum/Muff	
75	65	2 1/2	10	Metrisk	PN10	Stum/Muff	
90	80	3	10	Metrisk	PN10	Muff	
110	100	4	10	ASME	class 150	Muff	
1	110	100	4	10	Metrisk	PN10	Muff
125	125	4 1/2	10	Metrisk	PN10	Muff	
140	125	5	10	Metrisk	PN10	Muff	
1	160	150	6	10	Metrisk	PN10	Muff
200	200	7	10	Metrisk	PN10	Muff	
225	200	8	10	Metrisk	PN10	Muff	
250	250	9	6	Metrisk	PN10	Muff	
250	225	9	6	Metrisk	PN10	Muff	
280	250	10	6	Metrisk	PN10	Muff	
315	300	12	6	Metrisk	PN10	Muff	
355	350	14	6	Metrisk	PN10	Muff	
400	400	16	6	Metrisk	PN10	Muff	
20	15	1/2	10	ASME	class 150	Muff	
25	20	3/4	10	ASME	class 150	Muff	
32	25	1	10	ASME	class 150	Muff	
40	32	1 1/4	10	ASME	class 150	Muff	
50	40	1 1/2	10	ASME	class 150	Muff	
63	50	2	10	ASME	class 150	Muff	
75	65	2 1/2	10	ASME	class 150	Muff	
90	80	3	10	ASME	class 150	Muff	
110	100	4	10	ASME	class 150	Muff	
140	125	5	10	ASME	class 150	Muff	
160	150	6	10	ASME	class 150	Muff	
225	200	8	10	ASME	class 150	Muff	

Artikelnr.	RSK	SP	Vikt	D	D1	D2	D3	H	r	AL	SC	
			(kg)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)			
721 700 005	310 32 07	100	0,053	90	60	23	14	10	1	4	M12	
721 700 006	310 32 15	90	0,067	95	65	28	14	11	1	4	M12	
721 700 007	310 32 23	50	0,092	105	75	34	14	12	2	4	M12	
721 700 008	310 32 31	40	0,133	115	85	42	14	14	2	4	M12	
721 700 009	310 32 49	25	0,198	140	100	51	18	15	2	4	M16	
721 700 010	310 32 56	20	0,247	150	110	62	18	16	2	4	M16	
721 700 011	310 32 64	30	0,312	165	125	78	18	18	3	4	M16	
721 700 012	310 32 72	25	0,376	185	145	92	18	19	3	4	M16	
721 700 013	310 32 80	20	0,464	200	160	110	18	20	3	8	M16	
161 483 180		30	0,538	220	190	133	19	22	3	8		
1	721 700 014	310 32 98	30	0,543	220	180	133	18	22	3	8	M16
721 700 015	310 33 06	12	0,904	250	210	150	18	26	5	8	M16	

Datablad

Giltig från: 2025-04-28



Kraghylsa PVC-U Kombinerad tätningsyta plan och rillad metrisk / BS

Utförande:

- Med limmuff
- d16 - d50: tätningsyta plan
- d63 - d400: kombinerad tätningsyta plan och rillad
- Kombination med tätning: profilplantätning EPDM art nr. 748 440 705-725, FKM art nr. 749 440 705-725 eller plantätning EPDM art nr. 748 440 705-725, använd endast O-ring EPDM art nr. 748 410 000-174, FKM art nr. 749 410 000-174 i kombination med motpart kraghylsa art nr. 721 810 105-123
- Tätning: planpackning EPDM code no. 748 400 306-323
- Kombination med flänsar (metrisk & ANSI): PVC-U, PP-V, PP-Stål

Hänvisning:

- * avfasning av röret kan vara nödvändigt vid användning med vridspjällventil typ 037/038/039

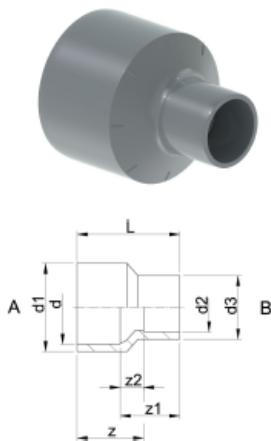
Plantätning påverkar max tillåtet driftstryck!

d	d tum	DN	PN	Artikelnr.	RSK	SP	Vikt
(mm)	(inch)	(mm)	(bar)				(kg)
16		10	16	721 800 105	227 50 14	10	0,006
*	20	1/2	15	721 800 106	227 50 22	10	0,009
		1/2	15	721 791 106		10	0,009
*	25	3/4	20	721 800 107	227 50 30	10	0,015
		3/4	20	721 791 107		10	0,014
*	32	1	25	721 800 108	227 50 48	10	0,024
		1	25	721 791 108		10	0,023
*	40	1 1/4	32	721 800 109	227 50 55	10	0,039
		1 1/4	32	721 791 109		10	0,035
*	50	1 1/2	40	721 800 110	227 50 63	10	0,056
		1 1/2	40	721 791 110		10	0,058
*	63	2	50	721 790 111	227 55 19	10	0,103
		2	50	721 791 111		5	0,107
*	75	2 1/2	65	721 790 112	227 55 27	10	0,159
*	90	3	80	721 790 113	227 55 35	10	0,253
		3	80	721 791 113		20	0,269
	110	100	16	721 790 114	227 55 43	10	0,417
*	125	4	125	721 790 115	227 55 50	5	0,533
		4	100	721 791 115		10	0,422
*	140	5	125	721 790 116	227 55 68	6	0,725
*	160	6	150	721 790 117	227 55 76	2	1,093
		6	150	721 791 117		2	1,172
*	200	200	10	721 790 119	227 55 20	2	1,460
*	225	8	200	721 790 120	227 55 92	2	1,743
		8	200	721 791 120		2	2,028
*	250	250	10	721 790 121		1	2,203
*	280	10	250	721 790 122		1	2,930
		10	250	721 791 122		1	3,020
*	315	300	6	721 790 123		1	4,455
	355	350	6	721 790 124		1	5,963
		12	300	721 791 123		1	3,400
	400	400	6	721 790 125		1	9,041

d	D	D1	d1	L	L1	z	
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
16	22	29	13	17	6	3	
*	20	27	34	16	19	6	3
		27	34	16	21	6	3
*	25	33	41	21	22	7	3
		33	41	21	24	7	3
*	32	41	50	28	25	7	3
		41	50	28	27	7	3
*	40	50	61	36	29	8	3

Datablad

Giltig från: 2024-08-01



Förminskning PRO-FIT PVC-U

Utförande:

- Utlopp A och B: Limslätande kombinerad med förminskad limmuff

d	d1	d2	d3	Tum	PN	Artikelnr.	RSK	SP	Vikt	z	z1	z2	L
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(inch)	(bar)				(kg)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
10	14	8	12		16	721 910 903	226 25 39	10	0,003	15	15	3	27
12	16	8	12		16	721 910 905	226 25 40	10	0,004	18	18	6	30
12	16	10	16		16	721 910 906	226 25 41	10	0,004	18	18	6	30
16	20	10	16		16	721 910 908	226 25 42	10	0,003	21	19	7	33
16	20	12	16		16	721 910 909	226 25 43	10	0,004	21	19	7	33
20	25	12	16		16	721 910 910	226 25 44	10	0,008	25	21	9	37
20	25	16	20		16	721 910 911	226 25 45	10	0,008	25	23	9	39
25	32	12	16		16	721 910 912	226 25 46	10	0,014	30	23	11	42
25	32	16	20		16	721 910 913	226 25 47	10	0,015	30	26	12	44
25	32	20	25		16	721 910 914	226 25 48	10	0,017	30	27	11	46
32	40	16	20		16	721 910 915	226 25 49	10	0,025	36	28	14	50
32	40	20	25		16	721 910 916	226 25 50	10	0,026	36	30	14	52
32	40	25	32		16	721 910 917	226 25 51	10	0,031	36	33	14	55
40	50	20	25		16	721 910 918	226 25 52	10	0,045	44	34	18	60
40	50	25	32		16	721 910 919	226 25 53	10	0,052	44	37	18	63
40	50	32	40		16	721 910 920	226 25 54	10	0,058	44	40	18	66
50	63	25	32		16	721 910 921	226 25 55	5	0,092	54	42	23	73
50	63	32	40		16	721 910 922	226 25 56	5	0,098	54	45	23	76
50	63	40	50		16	721 910 923	226 25 57	5	0,111	54	49	23	80
63	75	32	40		16	721 910 924	226 25 58	5	0,127	62	46	24	84
63	75	40	50		16	721 910 925	226 25 59	5	0,139	62	50	24	88
63	75	50	63		16	721 910 926	226 25 60	5	0,167	62	55	24	93
75	90	40	50	2 ½	16	721 910 927	226 25 61	10	0,224	74	56	30	100
75	90	50	63	2 ½	16	721 910 928	226 25 62	10	0,253	74	61	30	105
75	90	63	75	2 ½	16	721 910 929	226 25 63	10	0,265	74	68	30	112

Tekniska data är ej bindande. De utgör varken uttryckligen garanterade prestanda eller garanterade egenskaper eller en garanterad hållbarhet. Förbehåll för ändringar. I övrigt gäller våra allmänna försäljningsvillkor.

Georg Fischer Piping Systems Ltd, Postfach, CH-8201 Schaffhausen/Switzerland Phone +41 -(0)52-631 1111 e-mail: info.ps@georgfischer.com Internet: <http://www.gfps.com>