UPPSALA UNIVERSITET

UPTEC W 25024
Examensarbete 30 hp
Maj 2025

Optimering av flotation för PFAS4-reduktion vid Norrvattens dricksvattenanläggning

En studie om processparametrars påverkan på rening, slamvolym och energiförbrukning

Kajsa Norin

Civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik

UPPSALA UNIVERSITET

Optimization of flotation for PFAS4 removal at Norrvatten's drinking water facility

Kajsa Norin

Abstract

Access to clean drinking water is one of the most fundamental prerequisites for human health and development, highlighted in the United Nations Sustainable Development Goal 6: *Clean water and sanitation for all*. While Sweden has a well-developed system for water treatment and delivery, challenges remain, particularly with PFAS. PFAS is a group of persistent chemicals that can accumulate in human bodies, potentially affecting health by disrupting immune systems, livers, kidneys, and even being linked to cancer. To safeguard public health, strict limits for PFAS in drinking water have been set by the Swedish Food Agency, placing high demands on water treatment facilities.

Norrvatten’s drinking water treatment plant has made progress in reducing some PFAS groups, but PFAS4, a particularly difficult-to-remove subgroup, remains a challenge. The goal is to meet the limit of 4 ng/l for PFAS4 by 2026. This study focuses on optimizing the flotation process at Norrvatten to enhance both water quality, reduce energy consumption and PFAS4 removal. It also investigates how process parameters, such as flow rate anssludge removal impact PFAS reduction. The results, based on previous studies and experimental trials, show that a PFAS4 reduction meeting the Swedish Food Agency's limit values was achievable after optimization, as long as the levels in Lake Mälaren remained below 5 ng/l.

Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten

Uppsala universitet, Utgivningsort Uppsala/Visby

Handledare: Frida Hugg Ämnesgranskare: Bengt Carlsson

Examinator: Fritjof Fagerlund

REFERAT

Optimering av kombinerad flotation och sedimentering för avskiljning av PFAS vid Norrvattens dricksvattenanläggning.

Kajsa Norin

Tillgång till rent dricksvatten är en av de mest grundläggande förutsättningarna för människors hälsa och utveckling, vilket betonas i FN:s globala mål 6*: Rent vatten och sanitet för alla*. Sverige har ett välutvecklat system för vattenrening och distribution, men det finns fortfarande utmaningar – särskilt när det gäller PFAS. PFAS är en grupp svårnedbrytbara kemikalier som kan ansamlas i kroppen och påverka hälsan genom att störa immunförsvaret, lever och njurar samt kopplas till cancer. För att skydda folkhälsan har Livsmedelsverket infört strikta gränsvärden för PFAS i dricksvatten, vilket ställer höga krav på vattenverken.

Norrvattens vattenverk står inför utmaningar med att minska halterna av PFAS i dricksvattnet, där PFAS4 utgör den största utmaningen för att klara det kommande gränsvärdet på 4 ng/l till år 2026. Denna studie syftar till att optimera flotationsprocessen vid Norrvatten för att förbättra vattenkvaliteten, minska energiförbrukningen och öka avskiljningen av PFAS4. Arbetet undersöker även hur olika processparametrar, såsom flödeshastighet, ytbelastning och slamavskiljning, påverkar PFAS-reduktionen. Resultaten, baserade på tidigare studier och experimentella försök, visar att PFAS4-reduktion som uppnådde livsmedelsverkets gränsvärden var möjlig efter optimering så länge halterna i Mälaren låg under 5 ng/l.

Nyckelord*: DAF, Dissolved air flotation, PFAS4, dricksvatten*

FÖRORD

Detta examensarbete omfattar 30 högskolepoäng och har genomförts inom ramen för civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet. Arbetet har utförts i samarbete med Norrvatten, med Frida Hugg som handledare. Ämnesgranskare för arbetet har varit Bengt Carlsson vid IT-institutionen på Uppsala universitet.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare, Frida Hugg, och min ämnesgranskare, Bengt Carlsson, för värdefull vägledning och stöd under arbetets gång. Jag vill även tacka Daniel Hellström för möjligheten att genomföra detta examensarbete. Ett särskilt tack riktas också till Anna Jansson, som analyserade mina prover i laboratorium och bidrog med sin kemiska expertis, samt till Hanna Strand för hjälp med att omarbeta figurer i Adobe Illustrator.

Kajsa Norin
Uppsala, Maj 2025

Copyright © Kajsa Norin Institutionen för informationsteknologi, Uppsala univarsitet.
UPTEC W 25024, ISSN 1401-5765. Digitalt publicerad i DiVA, 2025, genom institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet. (http://www.diva-portal.org/)

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Rent dricksvatten är en av de mest grundläggande förutsättningarna för människors hälsa och utveckling. Det är så viktigt att det har en egen rubrik i de globala målen*: 6. Rent vatten och sanitet för alla*. I Sverige har vi en väl utvecklad teknik för att behandla och leverera rent vatten, men vi står fortfarande inför många utmaningar, bland annat i form av PFAS.

PFAS är ett samlingsnamn för en stor mängd kemikalier med liknande uppbyggnad. Dessa ämnen finns spridda i många vardagliga produkter, från skönhetsprodukter och skor till stekpannor och brandsläckare. Det som gör PFAS särskilt problematiska är att de bryts ner mycket långsamt, de är så kallade "evighetskemikalier". Utöver detta har PFAS visat sig kunna påverka människors hälsa negativt, bland annat genom att störa immunförsvaret, levern och njurarna, och i vissa fall kopplas de till cancer. För att skydda människors hälsa har Livsmedelsverket satt strikta gränsvärden för PFAS i dricksvatten, vilket ställer höga krav på dagens vattenverk.

I denna rapport fokuserades reningsinsatserna på PFAS4-gruppen, med målet att nå under Livsmedelsverkets kommande gränsvärde till år 2026 på 4 ng/l PFAS4 i dricksvatten. För att sätta detta i perspektiv kan 4 ng/l jämföras med två vattendroppar i en normalstor simbassäng. Det innebär att en metod som renar på nanonivå kommer att krävas för att uppnå detta mål.

En av de metoder som används för att rena vattnet är flotation. Flotationsprocessen bygger på användningen av mikrobubblor för att fånga upp och lyfta partiklar från vattnet. Bubblorna och partiklarna bildar sedan ett skum på vattenytan, och genom att avlägsna detta skum blir vattnet renare. En liknelse för att förklara denna process är att tänka på en nyligen öppnad flaska med kolsyrad dryck. När flaskan öppnas stiger koldioxid ut som små bubblor. Om ett sugrör placeras i flaskan får bubblorna sugröret att stiga upp, mycket likt hur partiklarna i flotationsprocessen rör sig. Men flotationsprocessen har inte enbart visat sig ha en renande effekt på lösta partiklar i vattnet, utan har i tidigare studier även visat sig ge en PFAS4-reducerande effekt.

Syftet med arbetet som beskrivs i rapporten var att optimera flotationsprocessen vid Norrvattens dricksvattenanläggning för att både förbättra den allmänna vattenkvaliteten och säkerställa att PFAS4-nivåerna understiger gränsvärdet enligt de kommande gränsvärdena. Rapporten strävar även efter att förstå hur olika parametrar påverkar PFAS4-reduktionen, samt att genomföra optimeringar som minskar energiförbrukningen och mängden slam.

Den del av Norrvattens reningsverk som undersöktes var verkets fem sedimentationsbassänger. Samtliga bassänger var utrustade med flotation, men endast fyra av dem hade en aktiverad flotation vid undersökningstillfället. I de fyra flotationsbassängerna genomfördes undersökningar för att testa hur olika parametrar i reningsprocessen påverkade PFAS4-reduktionen och den allmänna partikelavskiljningen som påverkar vattenkvaliteten. De experimentella studierna delades in i tre delar. Den första delen jämförde PFAS- och partikelreduktion mellan två bassänger, bassäng 1 och bassäng 2. Den andra delen fokuserade på att jämföra partikelreduktionen mellan bassäng 2 och bassäng 4, och den tredje jämförde reningen i bassäng 4 och 5. I dessa experiment var flödet genom bassängerna och slamuttaget av flotationsslam de parametrar som kunde regleras. Slamuttaget kunde justeras i bassäng 2, 4 och 5 där speciella slamvalsar gjorde det möjligt undersöka slammängdens påverkan på

vattenkvalitén. Resultat i vattenkvaliteten visade på att längre bassänger (bassäng 4 och 5) hade en bättre rening i jämförelse med de mindre bassängerna (bassäng 1 och 2).

I arbetets optimeringsdel testades olika flödeshastigheter i undersökning av de bästa inställningarna för att minska PFAS4-halterna. Detta samtidigt som andra krav: som turbiditet (hur klart vattnet är) och slamvolym, fortfarande skulle uppfyllas. Vid det bästa flödet på cirka 4,9 ng PFAS4/l i råvattnet lyckades man minska halten till 4 ng/l, vilket gav en reduktion på 18%. Dock förekom detta resultat med stora osäkerheter.

Under optimeringen testades även olika sätt att fördela flödena mellan bassängerna. Här såg man att den bästa reduktionen av PFAS4 uppnåddes när mer vatten leddes till de större bassängerna (bassäng 4 och 5). Det undersöktes även huruvida det gick att stänga av flotationen i vissa bassänger för att spara energi, särskilt vid låga flöden. Det visade sig att om flotationen i bassäng 2 stängdes av, påverkades inte PFAS4-reduktionen särskilt mycket.

Slutligen drogs slutsatsen att flotation fungerade som en PFAS4-reducerande metod, samt uppfyllde livsmedelverkets gränsvärden så länge halterna i Mälaren låg under 5 ng/l. Under åren 2024 och 2025 har PFAS4-halterna i vattnet legat under 5 ng/l, varpå flotation är en fungerande lösning. Om halterna i Mälaren däremot skulle öka, så behöver ett alternativ till flotation som rening för PFAS4 att undersökas.

ORDLISTA

DAF – Dissolved air flotation, på svenska kallad *flotation*.

Dispersionsvatten – Vatten som mättats med syre under tryck.

Dispersionsfas - Det steg i vattenreningsprocessen där dispersionsvatten släpps ut.

DOC – Dissolved organic carbon, på svenska *löst organiskt kol.*

Hydrofob – Vattenavstötande.

Hydrofil – Vattenlöslig.

Klarfas – Det steget efter att slam från dispersionsfasen tagits bort.

NOM – Natural organic material, på svenska *naturligt organiskt material*.

PFAS – Poly- and Perfluorinated Alkyl Substances, på svenska *Poly- och perfluorerade alkylsubstanser*.

PFAS 4 – En grupp PFAS-ämnen som består av: PFOA, PFNA, PFOS och PFHxS.

Råvatten – Vattnet som tas upp för dricksvattenproduktion, i detta fall Mälarens vatten.

SS - Suspended solids, på svenska *suspenderade fasta ämnen.*

Sjunkhastighet (v_s) – tiden det tar för en partikel att sjunka från ytan till botten av en bassäng.

TOC – Total organic carbon, på svenska *totalt organiskt kol* = löst organiskt kol (DOC) + partikulärt kol.

TSS – Total suspended solids, på svenska *total suspenderade fasta ämnen*.

TS – Torr substans.

Turbiditet – grumlighet, ett mått på suspenderade partiklar i vatten.

Ytbelastning - Förhållandet mellan vattenflödet och bassäng/filteryta (Q/A [m/h])

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING 1
1.1 Syfte och frågeställning 2
1.2 Hypotes 2
2. BAKGRUND 3
2.1 PFAS 3
2.1.1 PFAS4 4
2.1.2 PFAS i dricksvatten 4
2.2 Flotation 5
2.2.1 DAF och reducering av PFAS 6
2.3 Norrvatten och dagens vattenreningsprocess 7
2.3.1 Undersökningsparametrar 10
2.3.2 DAF optimering för normal funktion 11
2.4 Tidigare studier av DAF och PFAS 12
2.5 Tidigare studier vid Norrvatten 14
3. TEORI 16
3.1 Ytbelastningsteorin – Hazens Teori 16
3.2 Kemisk Fällning 18
4 METOD 19
4.1 Provtagningsplan 19
4.2 Provtagningsinställningar 20
4.3 Massbalans- och optimeringsmetod 21
5 RESULTAT 22
5.1 Kvalitetsparametrar 22
5.1.1 Resultat del 1 22
5.1.2 Resultat del 2 26
5.1.3 Resultat del 3 29
5.2 PFAS4 och osäkerhet 32
5.2.1 Resultat del 1 32
5.2.2 Resultat del 2 34
5.2.3 Resultat del 3 35
5.3 PFAS4 med tidigare år 35
5.4 Massbalans 39

5.5 Optimering 42
6 DISKUSSION 46
6.1 Massbalans och optimering 46
6.2 Besvarande av frågeställningar 47
6.3 Osäkerhetsanalys 51
6.4 Utvecklingspotential 53
7 SLUTSATSER 54
8 REFERENSER 55
9 BILAGOR 57
A. Resultat från provtagningar 57
B. Beräkning och exakta siffror – kvalitetsparametrar 61
C. PFAS 4 beräkningar 65
D. Osäkerhetsberäkning 69
E. Massbalansberäkningar 71
F. Optimeringsberäkningar 73

1. INLEDNING

Att rena stora mängder vatten för produktion av dricksvatten innebär processer i flera steg, både fysikaliska och kemiska. Ett vanligt steg i denna process är sedimentationen, där lösta partiklar i vattnet sjunker till botten där de ansamlas och tas bort. En av Sveriges största dricksvattenproducenter, Norrvatten, har ett unikt sedimentationssystem i sitt vattenverk där dubbelsidiga sedimentationsbassänger (så kallade vändbassänger) används i kombination med flotation.

Flotation är en reningsmetod där dispersionsvatten (vatten som mättats med syre) trycks ut från vändbassängens kortsida. Detta utlöser mängder av mikrobubblor som stiger till vattenytan och bildar ett tunt skum. Med dessa mikrobubblor fångas partiklar upp från vattnet, vilket bidrar till en reducering av lösa partiklar i dricksvattnet. Flotationssteget i sedimentationsbassängerna installerades i ett kapacitethöjande syfte för att öka den allmänna reningen av lösa partiklar. Något som kom som en oväntad bonus var att flotationen inte bara bidrog med en förbättring i den allmänna reningen, utan även har visat sig ha en viss PFAS avskiljande förmåga.

PFAS är en grupp giftiga och persistenta kemikalier som ackumuleras i miljön och kan hamna i både mat och dricksvatten. På grund av PFAS gruppernas hälsofarliga egenskaper har livsmedelsverket satt ett gränsvärde i dricksvatten till år 2026 för PFAS4 på 4 ng/L och PFAS 21 på 100 ng/l. PFAS4 är en grupp av långkedjade PFAS-föreningar som består av fyra ämnen: PFOA, PFNA, PFOS och PFHxS. Dessa ämnen är kända för sina negativa effekter på hälsa och miljö. De har en lång kolkedja, vilket gör att de binder starkt till partiklar och sediment i reningsverk. Hälsomässigt kan dessa ämnen orsaka allvarliga effekter som påverkar immun- och sköldkörtelfunktion, lever, njurar, reproduktion och kan kopplas till vissa former av cancer. Halterna av PFAS21 i Mälaren är låga, vilket innebär att det föreslagna gränsvärdet inte utgör någon utmaning för Norrvattens vattenverk i dagsläget. PFAS4 däremot har under tidigare år uppmätts i nivåer över det kommande gränsvärdet. Därför utgör denna undergrupp en särskild utmaning inför de nya kraven.

Den processrelaterade uppgift som exjobbet på Norrvatten dels handlar om är optimering av flotationssteget i dricksvattenprocessen. Efter att råvatten (vatten som kommer direkt från Mälaren) pumpats upp, silats och genomgått viss kemisk behandling delas vattnet upp i 6 olika linjer (bassänger) där 5 av de är med en kombination av flotation och sedimentation. PFAS4 nivåerna i råvattnet ligger idag på gränsen av att överstiga 4 ng/l, och om PFAS4 nivåerna ökar ytterligare ska optimeringen av flotationssteget kunna visa att nivåerna av PFAS4 fortfarande är godkända av Livsmedelsverket.

En viktig aspekt att tänka på vid optimering av flotation är att det är en energikrävande process som bidrar med stora slamflöden. Norrvattens slamhantering har vissa kapacitetsbegränsningar och därför behöver det totala slamflödet ligga under denna kapacitet så att de inte tvingas brädda ut slam till sjön. Energiförbrukningen kan påverkas genom att välja hur många linjer som körs med flotation. En hypotes är att en hög belastning genom några linjer med flotation och en lägre genom övriga där flotationen stängs av (dvs enbart sedimentation) skulle eventuellt kunna ge tillräcklig PFAS-reduktion, och även reducera energiförbrukningen.

1.1 Syfte och frågeställning

Syftet med detta examensarbete är att undersöka reningseffektiviteten i olika flotationsbassänger för att komma fram till en lämplig driftstrategi för att reducera mängden PFAS, minimera slamuttaget och energiförbrukningen. Arbetet strävar också efter att optimera flotations- och sedimentationsstegen vid Norrvattens dricksvattenanläggning. Optimering innebär att förbättra stegens förmåga att rena vattnet från lösta partiklar, samtidigt som en önskad reduktion av PFAS4 uppnås. En central fråga i arbetet är varför vissa av Norrvattens fem linjer presterar bättre än andra, både när det gäller PFAS4-reduktion och partikelrening.

Målet med projektet är att baserat på data från tidigare och med egna försök utveckla en driftstrategi som säkerställer att beredningen av dricksvatten vid Norrvatten ligger under det kommande gränsvärdet för PFAS4. Ambitionen är att förbättra reningen på ett sätt som minimerar både slamvolym och energiförbrukning. Processen ska dessutom uppfylla kraven på turbiditet (grumlighet) enligt gällande vattenkvalitetsnorm på 1 FNU efter sedimentering.

Sammanfattat ger detta följande frågeställningar:

- *Hur kan PFAS4-reningen optimeras i dricksvattensreningsprocessen för att nå gränsvärdet till år 2026 (på 4 ng/L), samtidigt som kraven på turbiditet-, slamvolym och energiförbrukning uppfylls?*
- *Hur påverkar olika parametrar, som ytbelastning och dispersionsvattenflöde, PFAS4-reduktionen? Samt vad är sambandet mellan flöde, slamuttag, kvalité och PFAS4 reduktion?*
- *Varför presterar vissa bassänger (linjer) på Norrvattens anläggning bättre än andra när det gäller PFAS4-rening?*

1.2 Hypotes

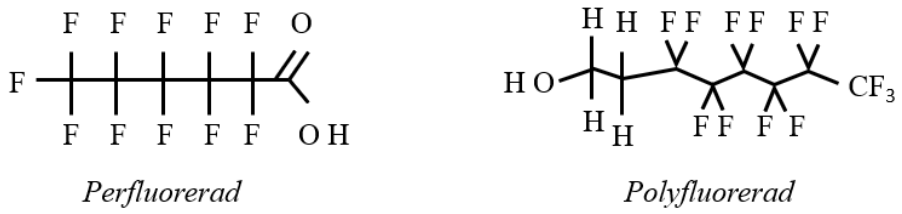
Det finns flera faktorer som kan påverka reningen och PFAS-reduktion vid flotation. En hypotes är att ett mindre slamuttag är negativt för vattenkvalitén då det eventuellt kan ha en inverkan på reningseffektiviteten. Om slamtäcket tillåts byggas upp under en längre tid, vilket sker då mindre slam plockas ut ur bassängerna, kan detta eventuellt bidra med en försämrad vattenkvalité (i både den allmänna reningen och av PFAS4-koncentrationen). Å andra sidan kan det vara en fördel med ett lägre slamuttag då det både minskar volymen slam som tas ut och eventuellt skulle kunna öka halten torrsubstans i slammet.

Genom olika analyser i dessa olika delar av bassängen kan en uppfattning fås angående effektiviteten i flotationen och eventuella skillnader mellan bassänger med olika design. En hypotes är att bassängen i linje 2 kan ha en större andel partiklar kvar än i bassäng 4, som är mer effektiv vid borttagning av partiklar via flotationen. Om så är fallet, borde analysen av dessa prover ge värdefull information om reningseffektiviteten.

2. BAKGRUND

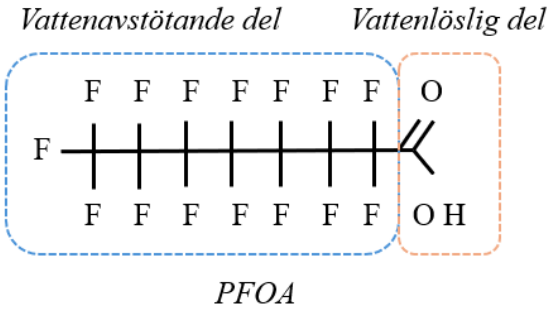
2.1 PFAS

PFAS är en förkortning av per- och polyfluorerande alkylsubstanser och kallas ibland också för högfluorerande ämnen (Kemikalieinspektionen u.å). Per- och polyfluorerande alkylsubstanser är ett samlingsnamn för en grupp av organiska ämnen som består av en kolkedja där väteatomerna är helt eller delvist utbytta mot fluoratomer (ibid). Kolkedjan kallas perfluorerad om den är helt fluorerad, och polyfluorerad om den är delvis fluorerad (se figur 1)



Figur 1 *- Helt fluorerade vs delvis fluorerade PFAS.*

PFAS har en karakteristisk struktur som innehåller både en hydrofil (vattenlöslig) och en hydrofob (vattenavvisande) del (Baresel et al. 2022). Den hydrofoba delen består av den fluorerade kolkedjan (se figur 2). Desto längre kedjan är, desto mindre löslig blir den i vatten (ibid). PFAS-molekyler kan vara laddade, antingen negativa, neutrala eller positiva, beroende på pH i det vatten den är löst i. I naturliga vatten är de flesta PFAS-molekyler negativt laddade (ibid).



Figur 2 *- Den kemiska konstruktionen av PFAS typen PFOA, med dess hydrofoba fluorerade kolkedja och dess hydrofila huvud (funktionella grupp). Bild omgjord från källan Förorenade Områden (2023).*

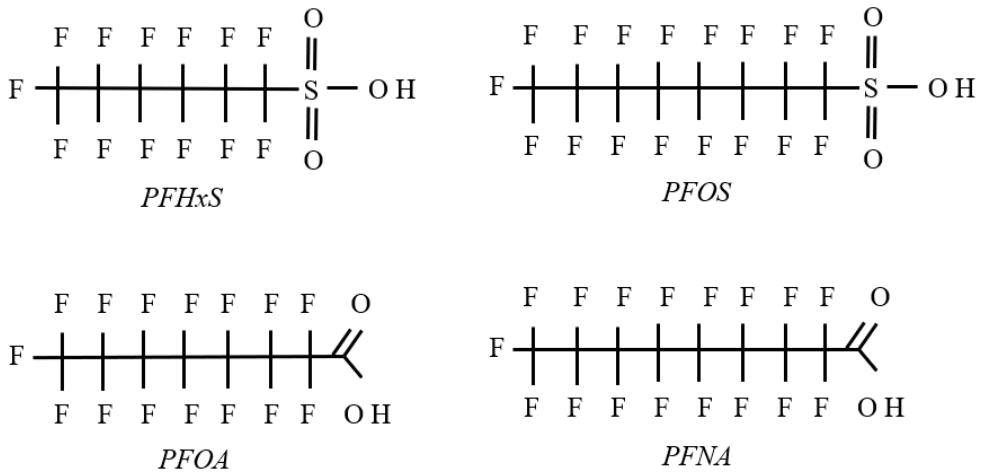
PFAS har tillverkats sedan 1950 talet och blev användbar inom många områden med dess fett- och smutsavvisande samt hydrofoba egenskaper (Kemikalieinspektionen u.å). PFAS har därav bland annat använts som impregnering av olika textiler, brandsläckarskum och olika kosmetiska produkter. PFAS är dessutom mycket motståndskraftig mot nedbrytning, vilket gör att de till exempel inte bryts ned av UV-ljus eller höga temperaturer (ibid).

Många PFAS-varianter misstänks vara skadliga då dessa kan ansamlas i människor och djur, så kallat bioackumulering. Vissa PFAS med längre fluorerande kedjor kan även biomagnifieras, vilket innebär att de anrikas mer ju högre upp i näringskedjan det kommer (ibid). PFAS-ämnen förekommer ibland som fett- och vattenavstötande, vilket gör att de inte

lagras i fettvävnad likt många andra ämnen med bioackumulerande förmåga. Istället binder dessa typer av PFAS till proteiner och lagras i andra organ, som levern och blodet. Det finns fortfarande mycket okunskap kring hur olika PFAS-varianter påverkar människor och miljö, men för vissa av dem, som PFOS och PFOA, finns tillräcklig information för att fastställa att de har skadliga effekter på hälsan och miljön. Dessa ämnen är bland annat klassificerade som reproduktionstoxiska och misstänks kunna orsaka cancer (ibid).

2.1.1 PFAS4

En av de vanligaste PFAS grupperna är PFAS4, som består av: PFOA, PFNA, PFOS och PFHxS (Baresel et al. 2022). Gemensamt för dessa är att de har långkedjiga kolstrukturer (se figur 3).



Figur 3 *- Följande visar de PFAS-typer som ingår under kategorin PFAS 4*

När det gäller fördelning av PFAS-föroreningar i reningsverk har studier visat att kortkedjade PFAS främst återfinns i den lösta fasen (vatten), medan den långkedjade varianten (som PFOS och PFHxS) kan binda till suspenderade partiklar och sediment. Denna fördelning beror på hur starkt PFAS binder till partiklar, vilket ökar med den hydrofoba kedjelängden (Baresel et al. 2022).

När det gäller hälso- och miljöeffekter har det visats att långkedjiga PFAS, såsom PFOS och PFOA, är toxiska och kan orsaka negativa effekter på bland annat immun- och sköldkörtelfunktion, leversjukdom, njursjukdom, reproduktionsproblem och vissa former av cancer. Dessa effekter har visats i både epidemiologiska och experimentella studier på djur. PFHxS och PFNA är likt PFOS och PFOA långkedjande PFAS-molekyler och får därav liknande skadeeffekter. PFHxS har visats öka risken för skador på lever samt ge ett minskat antikroppsförsvar från vaccin. PFNA har visats kunna påverka negativt på kolesterolvärden. Även om de vanligaste PFAS som PFOA och PFOS har studerats mest, är kunskapen om hälsoeffekter av andra PFAS-föreningar fortfarande begränsad (Baresel et al. 2022).

2.1.2 PFAS i dricksvatten

Införandet av stränga gränsvärden för PFAS i olika produkter är en relativt ny företeelse inom det offentliga hälsoskyddet. Livsmedelsverket har genomfört åtgärder för att hantera problematiken kring PFAS (Livsmedelsverket 2025). I början av 2023 implementerades

gemensamma gränsvärden för PFAS i animaliska livsmedel, vilket inkluderade bland annat ägg, kött och skaldjur. Däremot träder de fastställda gränsvärdena för PFAS i dricksvatten, som tidigare endast utgjorde rekommendationer, först i kraft den 1 januari 2026 (ibid).

De nya gränsvärdena för dricksvatten omfattar de grupper som betraktas som särskilt hälsofarliga vilket utgörs av PFAS4 och PFAS21. För dessa grupper fastställs ett gränsvärde av PFAS4 på 4 ng/l och PFAS 21 på 100 ng/l som högsta tillåtna koncentration i dricksvatten 2026 (Livsmedelsverket 2025).

Utöver de striktare reglerna kring gränsvärden för vattenverken betonar Svenskt Vatten (u.å) att problematiken kring PFAS även är något som kan förebyggas tidigare i processen. För att effektivt minska PFAS i miljön betonas vikten av uppströmsarbete, det vill säga att förhindra att PFAS hamnar i vattensystemen från början (Svenskt Vatten u.å). Svenskt Vatten (u.å) förespråkar ett gruppförbud för PFAS och uppmanar företag att frivilligt sluta sälja produkter som innehåller PFAS. Samtidigt betonas att konsumenter också har en viktig roll att spela genom att välja bort produkter med PFAS (ibid).

I Mälaren uppmäts för närvarande varierande halter av PFAS4 beroende på uppmätningspunkt, generellt i spannet 0,5–10 ng/l (Stockholm Vatten och Avfall u.å).

2.2 Flotation

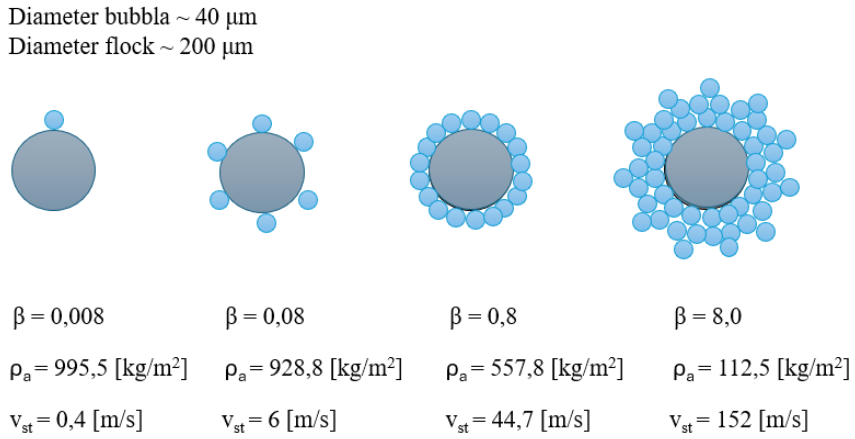
Dissolved air flotation (DAF) är en process som separerar fasta ämnen (flockar och partiklar) från vatten. DAF använder tryck för att lösa mer luft i orenat vatten än vad som är möjligt vid normalt atmosfärstryck, där den upplösta luften fälls ut i form av små bubblor (Woodard & Amp 2006). När bubblorna bildas fäster de vid de fasta partiklarna i vattnet, drivet av deras hydrofoba egenskaper. Då tillräckligt många luftbubblor fäster vid en partikel bildas ett partikel-luftbubbelkomplex. När detta komplex får en lägre densitet än vatten stiger det till ytan (ibid).

Ett vanligt exempel på detta fenomen är ett sugrör i en nyligen öppnad flaska med kolsyrad dryck. Innan flaskan öppnas är innehållet under tryck, eftersom det pressat ned koldioxidgas vid buteljeringen. När korken tas av släpps trycket och koldioxiden fälls ut från lösningen i form av små bubblor. Bubblorna fäster vid alla fasta ytor, inklusive ett sugrör om ett sådant har placerats i flaskan. Snart kommer sugröret att stiga upp i flaskan (Woodard & Amp 2006).

På ett liknande sätt kan fasta ämnen med en specifik vikt större än 1 orsakas att stiga till ytan i det orenade vattnet (Woodard & Amp 2006). DAF används i stor utsträckning vid behandling av industriella avloppsvatten för att ta bort eller separera metalljoner, anjoner, olja, fett, kemikalier, mikroorganismer, kolloider och ultrafina partiklar (Féris & Rubio 1999). En nackdel med processen är att det krävs höga kostnader för att uppnå den vattenmättad som krävs för bubbelbildning (ibid). I en föreläsning av Van Dijk (2007) beskrivs hur flotationsteknologin kan anpassas för dricksvattenanläggningar, men samtidigt påpekas det att många dricksvattenanläggningar i Nederländerna (där föreläsningen hölls) har ersatts med nyare filtreringstekniker såsom membranfiltrering.

Van Dijk (2007) förklarar funktionen av flotation som en liknelse till funktionen av sedimentation. Sedimentation innebär att partiklar tyngre än vatten sjunker till botten, medan flotation innebär att partiklar lättare än vatten stiger upp mot ytan (Van Dijk 2007). För att

göra partiklarna lättare än vatten tillsätts luft (se figur 4). Detta sker genom att dispersionsvatten, som är fyllt med små luftbubblor, trycks in i en sedimentationstank. Vid detta skede skapar luften ett täckte av luftbubblor som stiger till vattenytan. Ju fler bubblor som tillsätts i vattnet desto fler bubblor kan fästa på flockarna i vattnet och därav öka stighastigheten samt skumbildningen (ibid).



Figur 4 *– Figuren visar skillnaden i stighöjd då olika antal bubblor fäster vid en flock. Till exempel får en flock med cirka en luftbubbla stighöjden (v_{st}) 0,4 m/s. Notera även hur densiteten ρ_a minskar med antalet luftbubblor. β indikerar förhållandet mellan $\frac{luftbubblor}{flockar}$. Bild omgjord från Van Dijk 2007.*

I dessa system kan den yta som behövs för sedimentering minskas och fortfarande uppnå samma resultat vid flotation som vid sedimentation. När bubblorna stiger till ytan bildas ett tunt skumlager som sedan tas bort, exempelvis genom att det rinner över kanten vid ett slamuttag. Det borttagna skummet och slammet samlas därefter upp för vidare hantering (Van Dijk 2007).

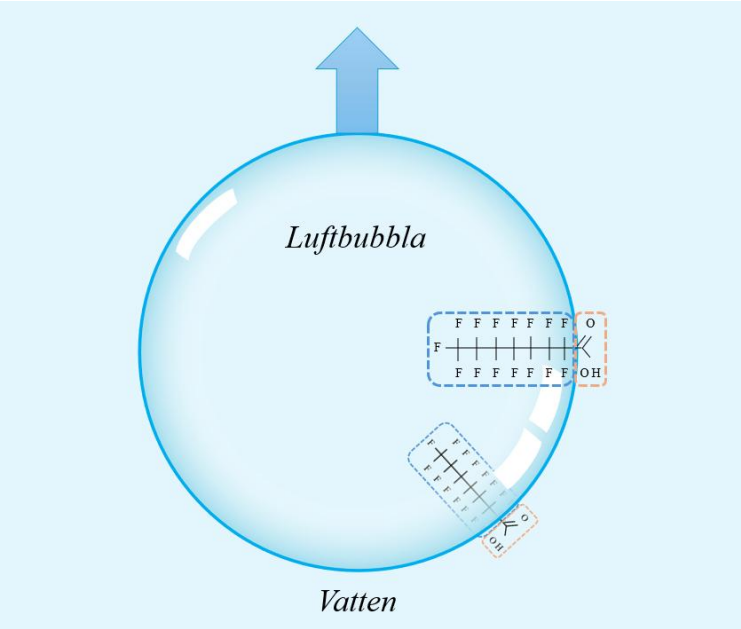
2.2.1 DAF och reducering av PFAS

Metoden bakom hur DAF fungerar liknar en annan PFAS-reningsmetod: Skumfraktionering. Detta är en metod för att ta bort PFAS från förorenat vatten, som används i behandlingen av industriellt och kommunalt avloppsvatten eller lakvatten från deponier (Smith 2023). Metoden fungerar genom att luft tillsätts till vattnet. När luftbubblor stiger mot ytan tar de med sig PFAS, vilket leder till att ämnena samlas i ett skum på vattenytan.

En skillnad mellan flotation och skumfraktionering är att skumfraktionering går ut på att tillsätta luft i botten av en hög kolonn. Detta bildar ett högt lager skum som sedan kan sugas bort med hjälp av en vakuumpump (Norrvatten 2024). Med flotationsprocessen, å andra sidan, släpps dispersionsvatten ut vid sidan av en bassäng. Detta dispersionsvatten är renat och luftat vatten som tillsätts med ett tryck som bildar små luftbubblor i vattnet. Vid flotation bildas inte ett lika högt skumlager som i skumfraktionering, men det bildas ett par centimeter tjockt slamtäcke på bassängens yta.

När det gäller skumfraktionering kan reningen av vattnet göras mer effektiv genom att ta bort skummet och den kvarvarande vätskan blir relativt fri från PFAS-ämnen (Smith 2023). Utifrån ett kemiskt perspektiv kan denna metod förklaras med PFAS molekylens polära

beteende (Baresel et al. 2022). Som tidigare nämnt har PFAS-molekylen en hydrofob (vattenavstötande) och en hydrofil (vattenlöslig) del. Eftersom PFAS-molekyler är ytaktiva tenderar de att placera sig vid gränsytan mellan vatten och organiska ämnen eller lösningsmedel (ibid). När PFAS löst i vatten stöter på en luftbubbla binder den sig därför med dess hydrofoba del in i luftbubblan och dess hydrofila del mot vattnet (se figur 5). När luftbubblan stiger till ytan följer PFAS-molekylerna med och bildar likt ett skum på toppen av vattnet (ibid).



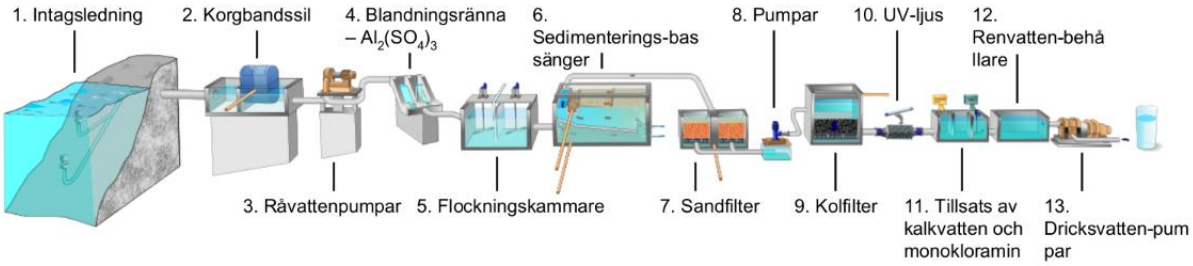
Figur 5 *- De vattenavstötande delarna (den fluorerade kolkedjan) kommer i kontakt med luftbubblorna och den vattenlösliga delen (SO3-- och COO- gruppen) blir kvar i vattenfasen. Figur omgjord från Baresel. C (et al) 2022.*

Genom att samla upp det PFAS-rika skummet som ansamlats på vattenytan kan detta avlägsnas, vilket medför att PFAS halten i vattnet reduceras (Baresel et al. 2022).

2.3 Norrvatten och dagens vattenreningsprocess

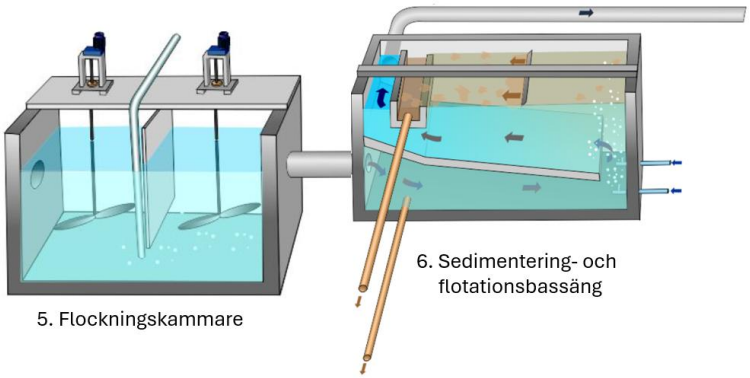
Reningsprocessen på Norrvattens vattenverk, Görvälnverket, består av en flerstegsprocess där vatten silas, renas och desinficeras innan det pumpas ut i ledningsnät och vidare till konsumenterna. Processen visas schematiskt i figur 6. Det första (1) steget i vattenreningsprocessen består av att pumpa upp råvatten från Mälaren, som vidare i steg två (2) silas från större organiskt material i en korgbandssil (Norrvatten u.å). Därefter rinner vattnet vidare till råvattenspumparna, steg tre (3), som fördelar vattnet i rätt mängder vidare i reningsprocessen. I steg fyra (4) förs vattnet till en blandningskälla där aluminiumsulfat tillsätts, och rinner därefter vidare till steg fem (5) flockningskamrarna. I flockningskamrarna bildas aluminiumsulfatflockar som binder till bland annat humusämnen och mikroorganismer. Natriumsilikat tillsätts även i detta steg vilket gör flockarna större (ibid). I det sjätte (6) steget sjunker flockarna i sedimentationsbassängen. Denna sedimentationsbassäng är med kombinerad flotation, vilket är en metod där partiklar i vatten lyfts till ytan med hjälp av små luftbubblor. Med luftbubblorna lyfts ett slam till ytan och bildar ett täcke som senare tas bort med en skrapa eller med en roterande vals. I det sjunde (7) steget leds vatten vidare till

sandfilter där vattnet filtreras genom en 1,5 meter tjock sandbädd. Efter sandfiltret rinner vattnet vidare till steg åtta (8) där vattnet pumpas till steg 9. Där filtreras vattnet genom ett 2,5 meter tjockt biofilter med granulerat kol för att ta bort smak och lukt samt därefter rinna vidare till steg tio (10) där vatten leds till en UV-reaktor som desinficerar vattnet. I steg elva (11) pH-justeras vattnet med kalk. I steg tolv (12) passerar vattnet i en renvattensbehållare (reservoar) och färdas efter det, i steg tretton (13), vidare till dricksvattenpumpar och hushåll (ibid).



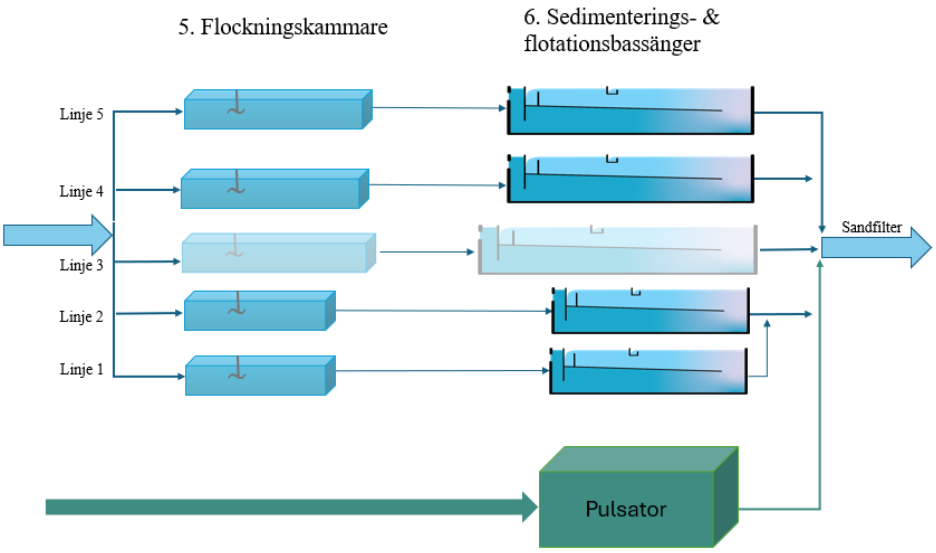
Figur 6 *– Vattenreningsprocessen steg för steg på Norrvattens dricksvattenanläggning (Norrvatten u.å).*

För undersökning av PFAS-reduktionen är det 5:e och 6:e steget i vattenreningsprocessen som är av särskilt intresse. I vattenprocessens sedimentations- och flotteringsdel har bassängen en dubbelbottnad konstruktion, en så kallad vändbassäng (se figur 7). Detta gör att sedimentering sker både i bassängens undre och övre plan, vilket i sin tur ger en större yta för slambildning. Slammet i undre plan skrapas och töms med jämna intervall, medan slammet på mellanbotten avlägsnas med en slamsug och recirkuleras till flockningskammaren (Hugg 2025). Det slam som flyter till ytan och lägger sig med skummet på ytan avlägsnas med en roterande vals (ibid). Flotationen som sker vid denna del av anläggningen är av typen DAF. Dess funktion bygger på att en andel av det utgående vattnet recirkuleras till tryckkärlen där det mättas med syre. Det så kallade dispersionsvattnet släpps ut i bassängen via ett antal dysor. Mikrobubblor frigörs varvid flockarna fäster och stiger upp till ytan (ibid). Flödet av detta dispersionsvatten är konstant och går inte att regleras. När flotation körs krävs det att ett visst minsta flöde hålls för att vattennivån i bassängen inte blir för lågt, vilket skulle leda till att slammet som bildas går under slamvalsen och därmed inte kan tas bort.



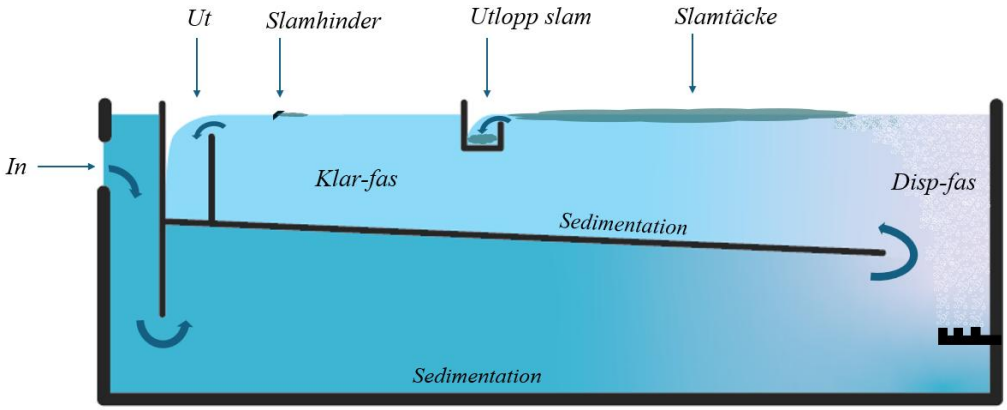
Figur 7 *– Förstorad figur av steg 5 och 6, flockning och en kombinerad flotations- och sedimentationskammare (Norrvatten u.å).*

På Görvälnverket finns det fem parallella linjer med flockning-, och sedimentering och flotation. Dessutom finns det en extra linje med en pulsator (se figur 8). Pulsatorn renar cirka 400 l vatten/s och drivs utan flotation. De övriga linjerna är uppbyggda med liknande struktur men med olika dimensioner. De olika linjerna presterar olika bra med avseende PFAS-reduktion och slamvolymindex (ibid).



Figur 8 *– Reningsprocessen bygger på att vattnet i flotation- sedimentationsstegen passerar genom flera parallella bassänger (linjer) i olika storlekar. Pulsatorn och Linje 3 går ej på flotation.*

Bland Norrvattens olika linjer är linje 1 och 2 respektive 4 och 5 av samma dimensionsmått. I linje 1 och 2 skiljer sig dock bassängerna när det gäller konstruktionen av slamuttagen (Hugg 2025). I linje 1 tas slammet bort med en skrapa som dras längs med vattenytan (se figur 7), denna arbetar långsamt och med ett konstant intervall på cirka 15 minuter. I Bassäng 2 sker slamborttagningen med en roterande vals som kan regleras kring hur ofta den ska rotera eller stå stilla (ibid). Roterar den oftare byggs ett kortare lager slam upp på vattenytan, medan om den roterar mer sällan tillåter detta slamtäcke att växa i längd (se figur 9).



Figur 9 *– Förenklad och förtydligande bild av Sedimentation- och flotationsbassängens olika delar.*

Vändbassängernas övre del kan delas in i olika zoner beroende på vart en befinner sig (ibid). Vattnet kommer in i inloppet från flockningskammaren och färdas därefter längst med botten

av bassängen, vänder, och dispersionsvatten tillsätts (flotationsdelen). Delen där flotation sker ger vattnet en vit grumlig färg och kallas för dispersionsfasen. Därefter ansamlas slam på vattenytan som senare tas bort. Efter slamborttaget kommer klarfasen, där vattnet har en betydligt lägre grumlighet. I klarfasen kan fortfarande visst slam förekomma på vattenytan, men detta hindras och fångas upp innan resterande vatten åker vidare till utloppet (ibid).

2.3.1 Undersökningsparametrar

Att omvandla råvatten till dricksvatten kräver ofta en kombination av fysikaliska, kemiska och mikrobiologiska behandlingar (Svenskt Vatten 2024). Råvattnets kvalitet varierar över året, men det färdiga dricksvattnet ska hålla en stabil och hög kvalitet för både distribution och konsumtion. I sedimentations- och flotationsbassängerna sker en rening av det ingående vattnet (ibid). För att uppnå önskad vattenkvalitet granskas parametrarna turbiditet, suspenderade ämnen, TOC och DOC för att få en bild av bassängernas partikelrening (Hugg 2025).

Turbiditet, ibland kallad grumlighet, är ett mått på suspenderade partiklar i vatten och påverkar sikten under vattenytan. Turbiditet kan påverkas av små och kortvariga förändringar, vilket kan indikera att vattenbehandlingen inte fungerar korrekt och att risken för sjukdomsframkallande mikroorganismer i dricksvattnet ökar (Svenskt Vatten 2025). Studier har visat att turbiditet i dricksvatten under 0,1 FNU innebär en markant lägre risk jämfört med turbiditet mellan 0,1 och 0,2 FNU. Generellt är det möjligt att behandla vatten med en stabil turbiditet under 0,1 FNU. Partiklar som orsakar turbiditet påverkar även UV-bestrålningen negativt (ibid). I flotationssteget, det processteg som undersöks i denna studie, ligger riktvvärdet på en turbiditet på <1 FNU. Detta för att efterföljande reningssteg ska kunna reducera värdet ytterligare, med målsättningen att det färdiga dricksvattnet ska ha en turbiditet under 0,1 FNU (ibid).

Suspenderade fasta ämnen refererar till fasta partiklar i vattnet som inte sjunker till botten. Dessa partiklar kan inkludera markfragment, lera, lermineraler, plankton samt kolloidalt organiskt material (Eurolab 2025). Mängden suspenderade fasta ämnen i ytvatten kan öka till följd av mänsklig aktivitet. Det är ett mått på organiska och oorganiska partiklar som kan filtreras, vanligtvis uttryckt i mg/l.

Vatten som tas direkt från en recipient (en naturlig vattenkälla) har ofta en viss färg. Detta beror på närvaron av naturligt organiskt material (NOM), vilket uppstår när nedbrytningsprodukter från växter, även kallade humusämnen, färgar vattnet brunt (Eurolab 2025). Mängden NOM kan mätas genom att bestämma halten av organiskt kol i vattnet. Det finns två vanliga sätt att mäta detta: totalt organiskt kol (TOC) och löst organiskt kol (DOC). TOC mäter mängden organiskt kol i ett ofiltrerat prov (Köhler & Lavonen 2015), vilket består av både partikulärt bundet kol och löst organiskt kol (DOC). DOC mäter mängden organiskt kol i ett filtrerat prov som kan oxideras till koldioxid vid hög temperatur (680°C) med en katalysator, oftast platina. I de flesta ytvatten är skillnaden mellan TOC och DOC liten, men vid höga flöden eller i produktiva sjöar kan partikulär humus förekomma (ibid). Höga koncentrationer av TOC kan bidra till att vattnet får en starkare lukt och smak (Svenskt vatten 2024). Gränsvärden för färg, lukt och smak i dricksvatten är fastställda för att säkerställa god kvalitet.

Organiskt material kan brytas ner av solljus och bakterier, vilket leder till att halterna av DOC varierar över året, även i sjöar med en uppehållstid på mer än ett år. För att säkerställa vattnets kvalitet kan indirekta integritetstester göras genom kontinuerlig övervakning av turbiditet och/eller partikelräkning. För vissa råvatten kan även andra parametrar, såsom färg eller UV-absorbans, vara användbara (Eurolab 2025). UV-ljus vid en våglängd av 254 nm ger ett indirekt mått på koncentrationen av NOM genom UV-absorbans, som är vattnets genomskinlighet för UV-ljus vid denna specifika våglängd (ibid).

I många delar av landet är alkaliniteten i råvatten ofta lägre än önskvärt och måste höjas, särskilt när kemisk fällning används som huvudprocess. En tillräcklig alkalinitet är nödvändig för att skapa ett stabilt fällnings-pH och för att säkerställa effektiv rening av humussyror (Eurolab 2025). Om alkaliniteten är för låg kan det vara svårt att få en stabil process, vilket leder till otillräcklig rening och risken för att fällningskemikalier passerar genom processen och lämnar resthalter (Al eller Fe) i dricksvattnet (ibid).

2.3.2 DAF optimering för normal funktion

I artikeln (Féris och Rubio 1999) beskrivs DAF som en process för separation av fasta ämnen och/eller vätskor som använder mikrobubblor som bärare. I industriell praxis tvingas vattnet genom nålventiler och moln av luftbubblor med en diameter på 20–150 µm produceras. Vanligtvis återcirkuleras 5–20 % av vattnet som lämnar flotationsbehållaren (Féris och Rubio 1999). Studien visar att bubbelbildning är möjlig vid arbetstryck lägre än 2–3 bar genom att sänka ytspänningen i bassängen. Det visar sig att mycket låga koncentrationer av tensider, ytaktiva ämnen som minskar ytspänningen mellan fett och vatten så att de kan blandas, krävs för att göra DAF genomförbar vid 2 bar eller lägre, vilket drastiskt minskar energikostnaden och optimerar hela processen (ibid).

Även om tryck vid 2–3 bar är möjligt, uttrycker Van Dijk (2007) att ett jämviktsläge skapas mellan luftbubblor och vatten vid ett tryck på cirka 8 bar (motsvarande temperaturen/klimatet i Nederländerna). Syftet med tryckinställningen är att skapa ett skumlager med luftbubblor på vattenytan, som senare kan tas bort genom slamuttag (Van Dijk 2007). Ett tunt lager av vatten och skum avlägsnas på detta sätt. Regleringen av att begränsa mängden vatten som går förlorat tillsammans med skummet kan tillkomma med en viss risk. Detta i och med att för mycket skum kan brytas upp och falla tillbaka ner i vattnet, vilket i sin tur kan leda till en ökad vattenförlust och en försämrad vattenkvalitet (ibid).

Van Dijk (2007) ansåg även att storleken på bubblorna spelar stor roll i flotationsprocessen. Detta då små bubblor ger utrymme för mer bubblor att fästa till flockarna. Stora bubblor kan även beskrivas med egenskapen att stiga snabbare till ytan, vilket skulle kunna leda till att de inte hinner fästa till alla partiklar när de färdas upp. Van Dijk ansåg diametern 40 [µm] som en lämplig storlek på bubblorna.

I ett tidigare examensarbete av Bäck (2021) undersöktes Roslagsvattens optimering av DAF. Målet var att föreslå en metod för att optimera DAF-processen och minska TSS-koncentrationen (Total suspended solids) i utflödet under höga flödeshastigheter. För att uppnå målet krävdes en historisk analys av DAF-processen samt en undersökning av hur dispersionsvattenflöde (effluent recycle rate, ERR) påverkade TSS-koncentrationen. Ökningen av TSS i utflödet tros bero på högre flöden från infiltration och inflöde, vilket påverkade DAF-processen (ibid).

För experimenten användes designvärdena för ERR (10-15 %) och ytbelastningen (4 m/h) som bas. ERR ökades under experimentet för fyra olika ytbelastningen (2,5, 4, 5 och 6 m/h), med fem steg mellan 15 % och 35 % ERR i en av de tre parallella DAF-enheterna på Margretelund. TSS i utflödet övervakades kontinuerligt med en TSS-sensor, och inkommande TSS halt mättes i ett 24-timmars samplingsprov på Roslagsvattens ackrediterade laboratorium (Bäck 2021).

Ett resultat från experimenten visade att både den högsta och lägsta inställningen av recirkuleringsgraden ERR gav de lägsta genomsnittliga koncentrationerna av suspenderat material i utflödet. Däremot visade det sig att en minskning av ytbelastningen ledde till lägre koncentrationer av suspenderat material. Resultaten indikerade också att recirkuleringsgraden hade en begränsad påverkan på TSS-koncentrationerna för varje enskild ytbelastning. Den högsta ytbelastningen som inte överskred TSS på 10 mg/l visade sig vara 5 m/h, både för recirkuleringsgraderna 15 % och 35 % (Bäck 2021).

2.4 Tidigare studier av DAF och PFAS

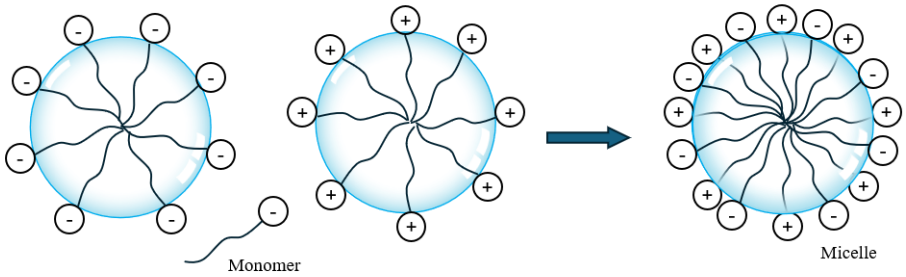
Användningen av flotation för att behandla förorenat vatten är väl etablerad, särskilt vid avlägsnande av olja, fett, organiskt material och suspenderade fasta ämnen, och kräver lite energi (Bolto & Xie 2019). Polyelektrolyter (PE) har visat sig förbättra prestandan i flotationsprocessen utan att öka den fasta doseringen som sker med oorganiska tillsatser som aluminiumsulfat. Genom att binda föroreningarna och fästa de resulterande aggregaten vid luft-vatten-gränssnittet kan processen effektivt utföras för de flesta avloppsvattentyper (ibid).

I Australien har studier av PFAS-borttagning genomförts vid vattenreningsanläggningar (ibid). I en av anläggningarna användes adsorption, flotation och filtrering följt av ozonation. Inflödeskoncentrationerna för diverse PFAS varierade från 3,7–16 ng/L och minskade till 0,7–12 ng/L efter ozonation (ibid). Koncentrationerna för de flesta PFAS förblev relativt oförändrade efter varje behandlingssteg. Polyfluoroktansulfonat var ett undantag med viss borttagning efter koagulering och DAF, följt av sandfiltrering. Särskilt de hydrofoba varianterna av polyelektroner (PE) visade sig kunna hjälpa till att aggregera PFAS vid luft-vatten-gränssnittet och därmed förbättra prestandan. Dock tydliggör Bolto & Xie (2019) en rekommendation om att ytterligare forskning på denna metod rekommenderas.

Raissouni (2024) beskriver flotation som en reningsmetod av vatten i Nordamerika. Koagulering och flockulering används i synergi för att förbättra processens robusthet och flockborttagning. Den fysikalisk-kemiska processen är även en central del i vattenreningsanläggningar för att samtidigt uppnå högre kapacitet och bättre avlägsna både reglerade och nya kontaminanter (Raissouni 2024). Vissa kontaminanter, som nanoplast, per- och polyfluorerade alkylsubstanser (PFAS) samt specifika fraktioner av naturligt organiskt material, är kända för att vara svårnedbrytbara för traditionella koagulanter (till exelpel alun och järnsulfat) och flockulanter (till exempel polyakrylamid). För att förbättra behandlingen och möta dessa utmaningar har fiberbaserade super-bridging-agents (en kemikalie som används för att förbättra eller förstärka aggregeringen av partiklar) visat sig vara en effektiv lösning (ibid). Cellulosafibrer, i kombination med kationisk polyakrylamid, har visat sig avsevärt förbättra flottationsprestandan genom att öka flockstorleken och förbättra flockbildningskinetiken. Detta gör att luft bättre kan integreras i flockstrukturen under

luftinjektion, vilket underlättar flotationen och avlägsnandet av kontaminanter. Fibrerna ökar även stabiliteten hos flockarna och gör dem lättare, vilket ytterligare förbättrar flotationen och därmed reduceringseffektiviteten (ibid). Genom att använda fibrer i kombination med katjonisk polyakrylamid har det visats att turbiditeten kan minskas med upp till 75 % genom flotation, vilket drastiskt överträffar traditionella fysikalisk-kemiska behandlingar där turbiditetsreduktionen är under 30 %. Dessutom visade experimenten att metallbaserade koagulanter inte längre behövs under flottation när fibrer används synergistiskt med kationiska flockulanter (ibid). Detta innebär en betydande minskning av driftskostnader och slamproduktion, vilket gör processen mer hållbar och kostnadseffektiv. Fiberbaserade super-bridging-agenter erbjuder därmed en lovande lösning för att förbättra kapaciteten hos vattenreningsanläggningar och minska behovet av kemikalier, samtidigt som en minskning i kontaminant sker (ibid).

I en publikation av Yueh-Feng et.al (2021), beskrivs PFOA reduktion med flotation tillsammans med katjoniska ytaktiva ämnen. I texten beskrivs hur PFAS-typer PFOA kan bli fullständigt reducerad på 20 minuter om denna blandas ut med ett katjoniskt (positivt laddad) ytaktivt ämne med liknade molekylär struktur som PFOA (Yueh-Feng et al. 2021). Mer specifikt användes 1,25 mM av tensiden OTAB. PFOA och OTAB visas i studien ha den högsta affiniteten (dragningskraft) att bilda blandningar vid luft-vatten-gränssnittet, och kommer därav bilda stabila monomer (ibid), (se figur 9).



Figur 10 *- De negativa molekylerna i figuren representerar PFOS och de positivt laddade representerar OTAB. Bild omgjord från Yueh-Feng et.al 2021.*

Studien noterade även att borttagning av PFOA minskade något med en minskning av jonstyrkan men förändrades inte med pH (ibid).

Skumfraktionering är, som tidigare beskrivits, en metod som har viss likhet med flotation. Den stora skillnaden är att flotation framförallt fokuserar på att separera partikulära material (till exempel fasta partiklar eller kolloidala ämnen) från en vätska genom att bubblor fäster på ytan av de partiklar som ska tas bort. Denna process används ofta för att ta bort partiklar som är hydrofoba (icke-vattenlösliga) (Hiradie 2005). Skumfraktionering, å andra sidan, är en process där lösta ämnen (som joner, molekyler eller kolloidala partiklar) adsorberas på bubblornas yta och skummar av (ibid). Här handlar det om att separera lösta ämnen genom att lyfta dem till vattenytan i en tjock skumfas. Det används för att koncentrera och separera ämnen som är lösta i vätskan, som till exempel proteiner, snarare än fasta partiklar (ibid). Rent praktiskt ger skumfraktionering ett tjockare lager av skum i jämförelse med flotation, som sker under lägre tryck (ibid).

I skumfraktioneringsprocessen är genereringen av bubbelströmmen ett viktigt steg. Bubbelströmmar skapar ett luft-vätskegränssnitt för adsorbering av PFAS (We et al. 2024).

För att uppnå effektivt PFAS-reduktion är det viktigt att ha en god förståelse för bubbelhydrodynamik, särskilt vid utformning av ett lämpligt luftsprutningssystem (ibid).

Luftflödeshastigheten är en av de enklaste parametrarna att styra för att påverka bubbeltillverkningen i skumfraktionering (We et al. 2024). Generellt sett ökar PFAS-avlägsnandet med högre luftflödeshastighet, eftersom fler bubblor produceras för PFAS-adsorption. Till exempel ökade effektiviteten från 75% till 85% när luftflödet ökade från 15 L/min till 20 L/min (ibid). Dock finns det en optimal luftflödeshastighet, då ett för högt flöde kan minska reningseffektiviteten genom att bryta ned skummet. Studier har visat att när gasflödet ökar för mycket kan skummet brytas ned, vilket hindrar skumbildningen och därmed minskar reduceringen av PFAS (ibid). En ökad luftflödeshastighet leder även till ökad ytlig lufthastighet och större bubblor. Ytlig lufthastighet är gasvolym per enhetsarea, och när denna hastighet ökar, ökar även luftinnehållet och det tillgängliga ytområdet för PFAS-adsorption (ibid). Detta förbättrar effektiviteten i processen, eftersom fler bubblor skapas och fler interfaciala ytor blir tillgängliga för PFAS att binda till. Å andra sidan kan större bubblor minska den specifika ytan, vilket inte gynnar adsorptionen av PFAS, eftersom större bubblor har en mindre yta i förhållande till volymen. Därför finns en avvägning mellan ytlig lufthastighet och bubbelstorlek. Studien visade att det är bättre att prioritera en högre ytlig lufthastighet för att uppnå högre PFAS-avlägsnande än att försöka öka bubbelstorleken (ibid).

För att ytterligare förbättra effektiviteten har försök gjorts att använda ozoniserad luft som gas för sprutning. Detta ledde till en PFAS-reduktion på 95% jämfört med 81% för vanlig luft (ibid). Hydroxylradikaler, som bildas när ozon sönderdelas i vatten, binder till de negativa funktionella grupperna på PFAS och förbättrar deras adsorption vid bubbelgränssnitten. Trots detta kan varken ozoniserad eller vanlig luft effektivt ta bort kortkedjade PFAS på grund av deras lägre hydrofobicitet (ibid).

2.5 Tidigare studier vid Norrvatten

Tidigare studie av flotationens påverkan av PFAS4 presenteras i ett examensarbete av Vikström (2023). Vikström (2023) undersökte DAF (Dissolved Air Flotation) som ett alternativ för att minska PFAS, samt undersöka massflöden av lösta partiklar efter rening med DAF. Vikström undersökte även hur slammet från PFAS4-reningen bör behandlas och konsekvenser för bland annat el, koldioxidutsläpp och kostnader för slambehandlingen. Vikström utförde experiment på Norrvattens linje 5 för undersökning av PFAS reduktion. I bassängen undersöktes reduktionen mellan ett maxflöde på 490 [l/s] och ett minimiflöde på 310 [l/s]. Vikström (2023) uppnådde resultat för PFAS-reduktion, där höga flöden gav en genomsnittlig rening på 21%, medelflöden resulterade i 27% rening och låga flöden gav den bästa genomsnittliga reningen med 32%.

Vidare i diskussionen skriver Vikström (2023) att om man antar en 25% reduktion (genomsnittliga reduktionen), skulle utsläppskoncentrationen av PFAS4 från DAF vara 4,3 ng/L för den högsta inloppkoncentrationen (motsvarande en högsta råvattenhalt på 5,5 ng/l) till Görvälnverket. Eftersom gränsvärdet från Livsmedelsverket på 4 ng/L skulle DAF ensam inte vara tillräcklig för att nå detta gränsvärde. För att nå gränsen skulle en borttagningsgrad på 30% krävas för den högsta koncentrationen som mättes i råvattnet.

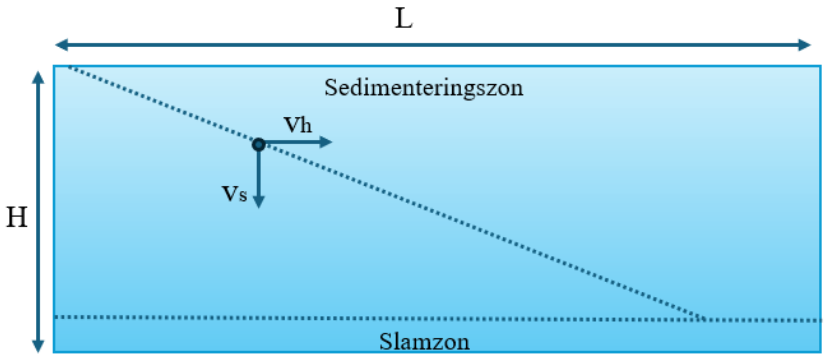
En ytterligare studie som genomförts på området av flotation och PFAS reduktion är Dahns (2024) examensarbete. Dahns (2024) metod byggde på att undersöka hur vattenflödet påverkar reduktionen i flotationslinjerna två (2) och fyra (4) (se figur 8) i Görvälnverket. Testerna ufördes i max, medel och minimiflöden i bassängerna, motsvarande värden av 210-330 [l/s] i linje 2 och 310-490 [l/s] i linje 4. Slamvalsen testades vid olika gång och paustider. Provtagning av PFAS i råvatten utfördes innan provtagningarna i bassängerna för att ge en god utgångspunkt (ibid).

Dahns (2024) resultat visade på att linje 4 gav en större PFAS reduktion i jämförelse med linje 2. Det bästa flöde för PFAS reduktion uppnåddes vid medelflöde, vilket skiljde sig från Vikströms resultat som visade på att ett lågt flöde var det mest optimala, speciellt i linje 4 där en reduktion på 30% uppnåddes. Det var vid denna procent av reducerad PFAS som Vikström (2023) även uttryckte att Norrvatten behövde överkomma för att uppnå den kommande lagstiftningen av 4 ng/l PFAS i dricksvattnet till 2026.

3. TEORI

3.1 Ytbelastningsteorin – Hazens Teori

En partikel i en sedimentationsbassäng påverkas av två krafter, dels vätskemassans strömning i horisontell riktning, dels tyngdkraften i vertikal riktning (Svenskt Vatten 2024). Tyngdkraften ger upphov till en sjunkhastighet (v_s) som kan beräknas enligt Stokes lag eller experimentellt (se figur 11).



Figur 11 *– I figuren visar v_h den horisontella hastigheten och v_s är den vertikala sjunkhastigheten, båda i [m/h]. Bild omgjord från Svenskt Vatten 2024.*

När man använder denna teori räknar man med att vattnet fördelas likformigt över hela gavelytan vid bassängens inloppsände. Bassängen dimensioneras så att de lättaste partiklarna som man vill avskilja når sedimentationsbotten just som vatten lämnar bassängen (ibid).

Hastigheten i horisontalled ges av (ibid):

$$v_h = \frac{Q}{B \cdot H} \tag{1}$$

där,
v_h = horisontell strömhastighet [m/h]
Q = vattenflöde [m^3/h]
B = sedimentationsbassängens bredd [m]
H = sedimentationsbassängens vätskedjup [m].

För att en partikel ska kunna avskiljas behöver den hinna sjunka till botten av sedimenteringsbassängen på samma eller mindre tid som vattnet passerar bassängen. Om en partikel med sjunkhastigheten v_s kommer in i bassängen vid ytan och når botten vid utloppet gäller följande:

$$\frac{H}{v_s} = tid\ för\ att\ nå\ botten \tag{2}$$

$$\frac{L}{v_h} = tid\ för\ att\ passera\ bassängen \tag{3}$$

där,
L = bassängens längd [m]
v_s = sjunkhastigheten [m/h]

Tiden för att både nå botten och passera bassängen utrycks i följande ekvation:

$$v_s = \frac{H \cdot v_h}{L} \tag{4}$$

Insättning av ekvation (1) i ekvation (4) ger:

$$v_s = \frac{Q}{B \cdot L} = \frac{Q}{A} \tag{5}$$

där Q/A är ytbelastningen [m/h].

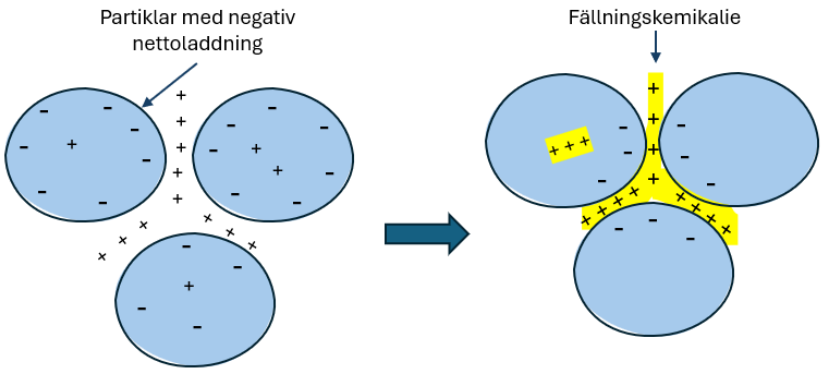
Uttrycket för ytbelastningen innehåller endast storheterna Q = vattenflöde [m^3/h] och A = bassängens horisontalyta (djupet gånger längden) [m^2] (ibid). Ytbelastningsteorin förutsätter laminärt och stabilt flöde. Störningar av olika slag kan förekomma i sedimentationsbassänger, till exemplet i strömningar, returströmningar och virvelbildning vid inloppet (ibid). I praktiken uppstår inte mer än 60% sedimentationseffekt i jämförelse med det teoretiska värdet. Detta bidrar till att bassängerna bör vara dimensionerade för lägre ytbelastning än slammets sjunkhastighet.

Sjunkhastighet v_s är lika stor som ytbelastningen då en partikel precis hinner nå botten och avskiljas (ibid). Bassängens totala sedimentationsyta och flöde är därav avgörande för sedimentationsresultatet. Om ytorna lutar avses den horisontella projektionen av ytorna. Detta innebär det att i praktiken så kommer större delen av bottenslammet ansamlas närmast utloppet av bassängen (ibid).

Sedimentationsytan för vändbassänger (som används på Norrvatten) är summan av sedimentationsbottnarnas horisontella yta (bottenareorna). För flervåningsbassänger är det av extra vikt att genomföra en likformig fördelning av vattnet till de olika våningarna. Dock i dagens nyare vattenverk installeras i princip inga konventionella sedimenteringar, inte heller flervåningssedimenteringar. Detta eftersom investeringskostnaderna blir höga och ytbehovet är stort (ibid).

3.2 Kemisk Fällning

Kemisk fällning kallas det när ett fällningsmedel, oftast i form av metallsalter som aluminium eller järn, tillsätts och en neutralisering sker av laddningarna (Svenskt Vatten 2024). Detta gör att små laddade partiklar klumpar ihop sig i en process där fällningskemikaliens fungerar som ett klister, kallad koagulering (se figur 12). Under flockningsprocessen kan dessa mycket små partiklar sammanfogas till större grupper som sedan kan tas bort genom sedimentering, flotation eller filtrering. De utfällda flockarna samlas som ett slam i sedimenteringsbassängen.



Figur 12 *– Fällningskemikalierna neutraliserar den elektriska laddningen hos de kolloidala partiklarna så att de kan slå sig samman till oladdade flockar. Bild omgjord från Svenskt Vatten 2024*

För att behandla dricksvatten i rening av färg, turbiditet och organiskt material krävs kemisk fällning (ibid). Partiklarna i vattnet påverkas av laddningens storlek, och den är i första hand beroende av pH-värdet under flockningsprocessen. Det är därför avgörande att pH-värdet justeras korrekt och hålls stabilt. För att uppnå effektiv koagulering och god flockbildning är det också viktigt att fällningskemikalierna tillsätts snabbt, följt av en gradvis försiktigare omrörning under flockningsprocessen. Detta förbättrar chanserna för att partiklarna ska komma i kontakt med varandra och bilda större flockar, som sedan kan sedimentera (ibid).

Exempel på en fällningskemikalie är Aluminiumsulfat med dess hjälpkoagulant natriumsilikat (även kallad vattenglas). Aluminiumsulfat används för kemisk fällning och produceras i industriell skala genom en reaktion mellan aluminiumhydroxid och svavelsyra (ibid):

$$2Al(OH)_3 + 3H_2SO_4 + 10H_2O \rightarrow Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$$

Natriumsilikaterna framställer man genom att smälta kvartssand (kiseldioxid, SiO2) med lämplig mängd natriumkarbonat till glas. Detta pulvriseras sedan och löses i vatten under hög temperatur och högt tryck till vattenglas (ibid). Vattenglas består av hydrat av natriumsilikat och används efter aktivering som hjälpkoagulant vid kemisk fällning. Vattenglas är en tjockflytande vätska, den bör inte frysa under transport eller lagras vid temperatur under 0 °C, eftersom dess effektivitet som hjälpkoagulant då minskar (ibid).

Efter flockningskammarna, där koaguleringsmedel och hjälpkoagulant tillsatts, rinner vattnet vidare till flotations- och sedimentationskammarna. Väl där kan flockarna som bildats i flockningskammarna tas bort.

4 METOD

PFAS4- och partikelreduktion undersöktes och jämfördes vid olika förhållanden i flotationsbassängerna. Undersökningarna omfattade jämförelser mellan bassäng 1 och 2 (del 1), jämförelse mellan bassäng 2 och 4 (del 2) samt mellan bassäng 4 och 5 (del 3). Vid jämförelserna mellan bassängerna eftersträvades en så lik ytbelastning som möjligt genom justering av flödeshastigheterna. Slamuttaget justerades i bassängerna 2, 4 och 5 genom att ställa in slamvals-tidsgång natten innan, vilket avgjorde hur ofta slam tömdes från bassängerna. Dessa varierande slamvalsintervall valdes inte enbart för att simulera olika driftsförhållanden, utan även i undersökning av det mest optimala intervallet för PFAS4-reduktion. I bassäng 1 skrapades slamtäcket långsamt framåt för att sedan tömmas ut ungefär var 15:e minut, dessa inställningar gick inte att ändra. Försöken pågick i sammanlagt 8 dagar och utfördes vid olika vattenfaser i flotationsbassängerna: råvatten, bassängens ingående fas, dispersionsfas, klarfas och utgående fas. Provtagningarna i samtliga delar genomfördes enligt en gemensam provtagningsplan.

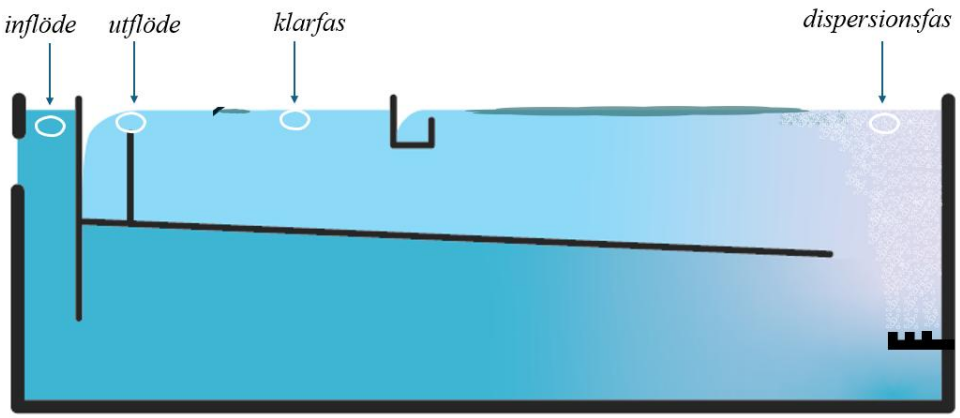
Förutom provtagningsdelen omfattade arbetet även en optimeringsdel. Inför denna genomfördes en massbalansstudie i syfte att undersöka den totala PFAS4-reduktionen från den sammanslagna reningen i de fem bassängerna och pulsatorn. Inom denna del beräknades även massbalansen för det slam som avskiljts via slamuttaget. Vidare utvecklades en modell för reningsprocessen i bassängerna och pulsatorn. Modellen möjliggjorde beräkning av massbalansen vid olika, fritt valda, flöden och reduktionsgrader. Syftet var att uppskatta om Norrvatten kan uppnå Livsmedelsverkets gränsvärde för PFAS4, samt att utvärdera möjligheten till energibesparing genom att stänga av flotationen i en eller flera av bassängerna.

4.1 Provtagningsplan

För råvatten togs prover genom att fylla en mindre flaska från det inkommande vattnet direkt från Mälaren, PFAS-flaskan förvarades i kyl fram till avsändning. Två 0,5 liters petflaskor fylldes från samma plats och lämnades till det interna labbet.

1. Provtagning i bassängen

Flödet i bassängerna justerades av driften kvällen före provtagningen, samt hölls konstant under respektive försöksdag. Vid provtagningarna togs samlingsprover från olika delar av bassängerna (inflöde, utflöde, klar- och dispersionsfasen), detta redovisas i figur 13. Vatten samlades in genom att sänka glasflaskan under vattenytan vid varje provtagningspunkt och överfördes sedan till 5-litersdunkar. Provtagningarna genomfördes varje timme under en femtimmarsperiod, mellan kl. 08:30 och kl. 14:30, tills dunkarna var fulla.



Figur 13 *– Samlingsprover togs vid Ingående vatten, i bakre delen av bassängen (där dispersionsvattnet tillsätts), strax efter att slammet tagits ut (i den s.k. klarfasdelen) och utgående vatten.*

Vattendunkarna från bassängerna blandades om, överfördes till petflaskor, och samlingsproverna skickades till ett internt laboratorium för analys. Ett separat prov från samlingsprovet i utgående vatten togs för analys av PFAS.

2. Slamprovtagning

Prov på flotationsslam togs ut från en provtagningskran i samband med tömning av slam och fylldes i plastflaska med volymen 1 liter. TS halten mättes med en TS-mätare på plats. Flaskan ställdes sedan åt sidan där den fick stå stilla under ett par timmar för att observera eventuella skiktningar i slammet.

4.2 Provtagningsinställningar

Del 1: Flotation i bassäng 1 och 2
Provtagningarna i denna del genomfördes under fyra dagar med försök i bassäng 1 och 2 i syfte att se om de är olika effektiva. Detta genomfördes genom att undersöka lägre och högre flöde (min= 240 l/s och max= 300 l/s) i undersökning av hur flödeshastigheten påverkar reningen. I linje 2 justerades slamuttaget genom att variera gångtiden för slamvalsen. Slamuttag går ej att ändra i linje 1 eftersom den har en annan konstruktion. Uttag av slam genomfördes för mätning av slamvolym och TS.

Del 2: Flotation i bassäng 2 och 4
Provtagningarna i denna del genomfördes under 2 dagar för att undersöka hur reningen i bassäng 4 och 2 skiljer sig då båda är inställda på samma ytbelastning. I bassäng 4 och 2 undersöktes även hur längden på slamtäcket påverkade kvalitén på vattnet. Uttag av slam genomfördes för mätning av slamvolym och TS.

Del 3: Flotation i bassäng 4 och 5
Provtagningarna i denna del genomfördes under 2 dagar för att undersöka bassäng 4 och 5, samt studera hur dessa skiljde sig under liknande belastningsförhållanden. Prover tas enligt provtagningsplanen för att bidra till PFAS-massbalansberäkningar samt ge underlag för andra kvalitetsparametrar. Uttag av slam genomfördes för mätning av slamvolym och TS.

4.3 Massbalans- och optimeringsmetod

Massbalansen beräknades genom att identifiera de dagar och flöden som uppvisade den högsta respektive lägsta reduktionen av PFAS4. För dessa dagar beräknades den totala reduktionen av PFAS4 med samtliga bassänger samt pulsatorn inkluderade.

Eftersom bassäng 3 inte bidrog till någon PFAS4-reduktion inkluderades den inte i flödesvariationerna, detsamma gällde för pulsatorn. Flödet genom bassäng 3 antogs vara ett medelvärde baserat på tidigare uppmätta flöden, vilket gav ett värde på 130 l/s. Pulsatorn hade ett fast flöde på 400 l/s. Klassificering av varierande flöden i bassängerna 1, 2, 4 och 5 presenteras i tabell 1.

Tabell 1 *- Följande tabell visar en indelning av vad som anses höga och låga flöden i de olika bassängerna.*

	Lågt flöde	***Medel flöde***	***Högt flöde***
Bassäng 1	220–240	240–250	250–330
Bassäng 2	210–240	240–250	250–330
Bassäng 4	310–390	390–430	430–600
Bassäng 5	310–390	390–430	430–600

Optimeringsdelen i arbetet liknade beräkningarna i massbalansen, men utgick från sambanden mellan flödeshastigheter och reduktionsgrader av PFAS4 i en modell där olika flödeshastigheter undersöktes. Flödet genom bassäng 3 och pulsatorn hölls konstant, med samma värden som i massbalansberäkningarna.

I denna del analyserades PFAS4-reduktionen vid både höga och låga dygnsflöden, för att efterlikna verkliga förhållanden i vattenproduktionen. Den lägsta tillåtna dygnsproduktionen i denna undersökning var 140 000 m^3/dygn, medan en hög produktion uppskattas till cirka 180 000 m^3/dygn. Vidare undersöktes hur PFAS4-reduktionen skulle påverkas om flotationen i de bassängerna med lägre reduktionsgrad stängdes av.

5 RESULTAT

5.1 Kvalitetsparametrar

5.1.1 Resultat del 1

Under provtagningsdagarna genomfördes justeringar av flödet och slamuttaget i de olika flotationsbassängerna. Nedan presenteras en sammanfattning av observationerna från varje provtagningsdag samt inställningsparametrarna presenterat i tabellform. För detaljerade labbresultat se bilaga (*A. Resultat från provtagningar*). Tabell 2 och 3 redovisar dag, datum, flödeshastighet, ytbelastning och andelen flotationsslam som togs ur bassängerna. För bassäng 2 anges även intervall-tiden för dess roterande vals. Datat nedan motsvarar del 1 av arbetet.

***Tabell 2** – Inställningsparametrar för **Bassäng 1**, del 1. Ytbelastning beräknades enligt ekvation (5), ytbelastningsteorin. Flotationsslam redovisas som andel [%] av totalt dygnsflöde som tas bort vid slamuttaget.*

Dag och Datum	Flödeshastighet [l/s]	Ytbelastning [m/h]	Flotationsslam [%]
Dag 1 (6/3)	300	2,5	0,83
Dag 2 (11/3)	312	2,6	1,04
Dag 3 (12/3)	236	2,0	0,50
Dag 4 (20/3)	234	1,9	0,51

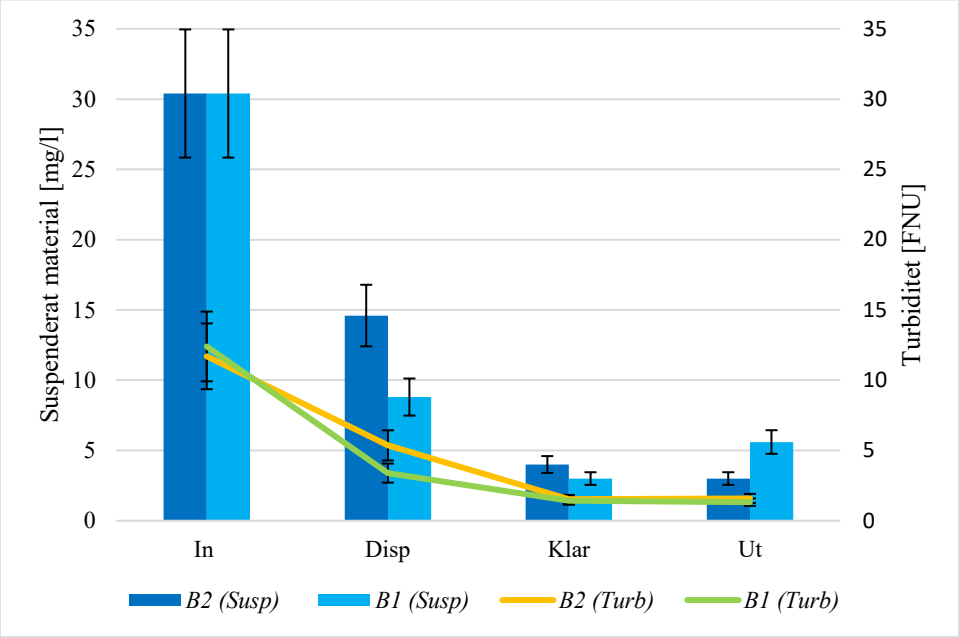
***Tabell 3** – Inställningsparametrar för **Bassäng 2**, del 1. Ytbelastning beräknades enligt ekvation (5), ytbelastningsteorin. Flotationsslam redovisas som andel [%] av totalt dygnsflöde som tas bort vid slamuttaget.*

Dag och Datum	Flödeshastighet [l/s]	Ytbelastning [m/h]	Roterande vals – inställningar.	Flotationsslam [%]
Dag 1 (6/3)	302	2,5	6 minuter gång, 4 minuter paus.	0,86
Dag 2 (11/3)	304	2,5	4 minuter gång, 6 minuter paus.	0,58
Dag 3 (12/3)	239	2,0	4 minuter gång, 6 minuter paus.	0,57
Dag 4 (20/3)	233	1,9	3 minuter gång, 7 minuter paus.	0,42

Övriga kommentarer: Under observationsperioden (dag 1 till 4) varierade slamtäckets längd och klarfasens kvalitet mellan de två bassängerna. I bassäng 1 noterades inledningsvis ett långt slamtäcke och viss översvämning av slam vid slamuttaget, men vattnet i klarfasen förblev klart. Över tid minskade slamtäcket i bassäng 1, och översvämning observerades inte längre, även om det på dag 3 fanns tecken på att förhållandena kunde leda dit. I bassäng 2 var slamtäcket initialt kortare. Klarfasen var genomgående något grumligare än i bassäng 1, och på dag 3 sågs även slamkolonier vid ytan. På dag 4 noterades ett tunt lager slam på klarfasens yta i båda bassängerna, men inga tecken på översvämning.

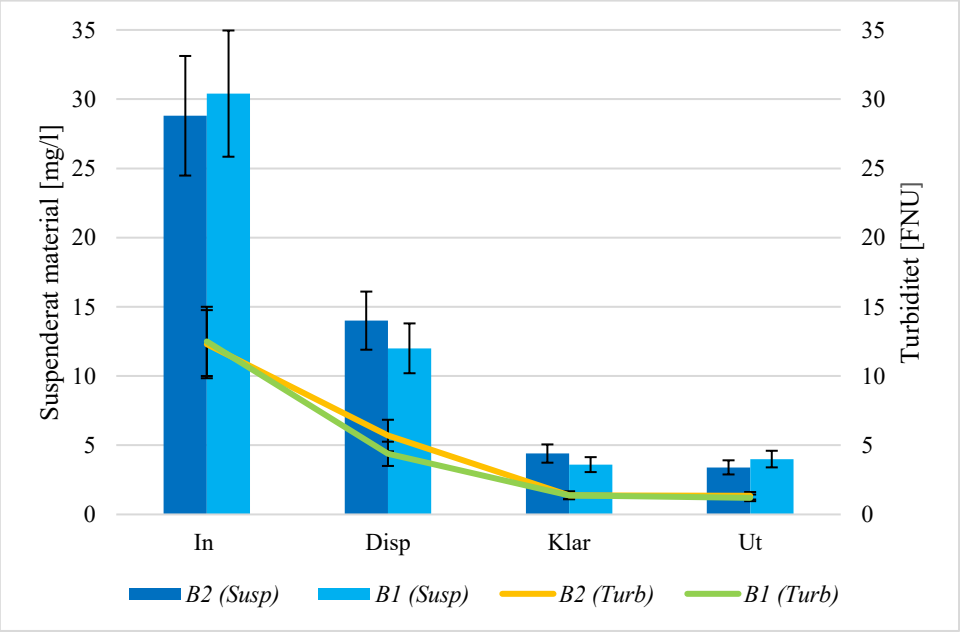
Vidare undersöktes kvalitetsparametrarna, suspenderat material och turbiditet, i de olika delarna av bassängerna 1 och 2 för att jämföra hur mängden partiklar sjunker i varje steg. Figurerna 14–17 redovisar minskningen av suspenderat material och turbiditeten genom inflödet (in), dispersionsfasen (disp), klarfasen (klas) och utgående flödet (ut). Figur 14 visar dessa kvalitetsparametrar i bassäng 1 och 2 för dag 1, Se Bilaga B (Beräkningar med exakta

värden) för exakta värden. Notera hur suspenderat material för bassäng 1 stiger från klarfasen till utgående fasen, detta är en osäkerhet som diskuteras vidare i kapitel 6 (6.3 osäkerhetsanalys).



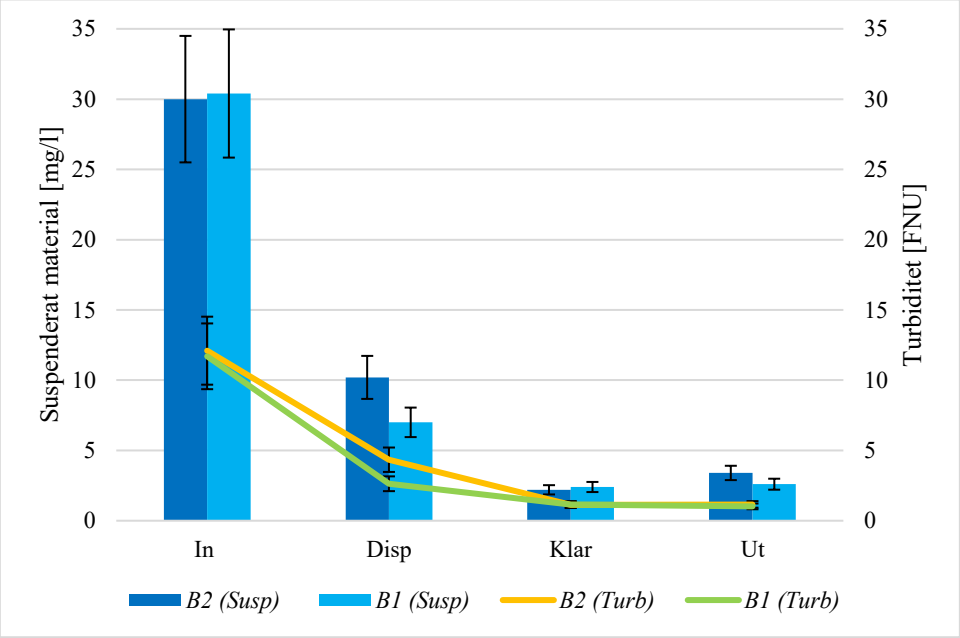
Figur 14 *- Jämförelse av suspenderade ämnen (Susp) och Turbiditet (Turb) i bassängerna 1 och 2 (B1 och B2) under dag 1. I x-led visas ingående fas (in), dispersionsfas (disp), klarfas (klar) och utgående fas (ut), y-axlarna visar halterna i mg/l och FNU. Felstaplar inritade i figuren visar på ±15% för suspenderat material och ±20% för turbiditet.*

Figur 15 redovisar kvalitetsparametrar (suspenderat material och turbiditet) och hur de minskar i bassängernas olika delar (ingående fas, dispersionsfas, klarfas och utgående fas) för bassäng 1 och 2 under dag 2.



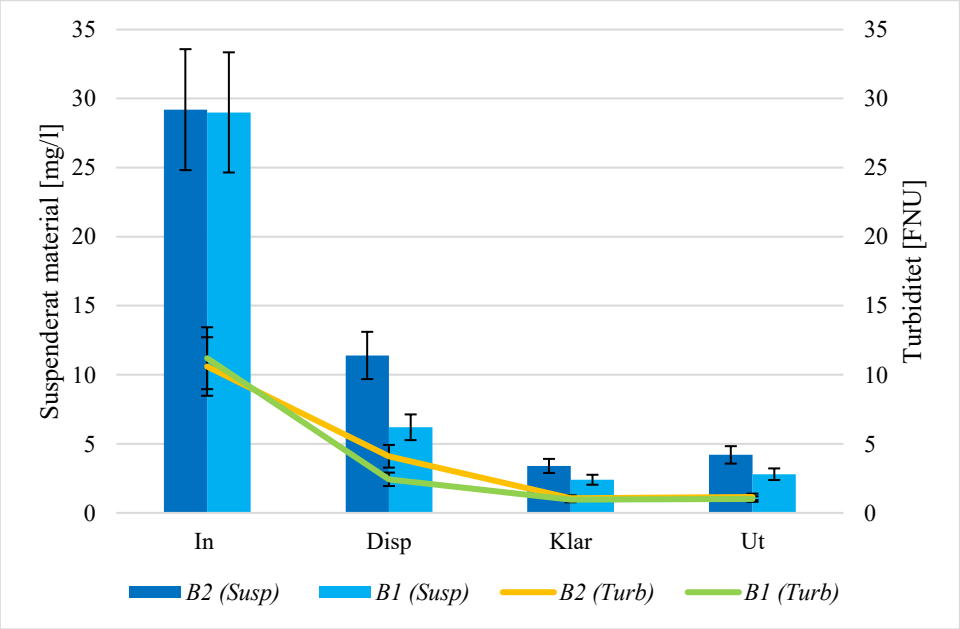
Figur 15 *- Jämförelse av suspenderade ämnen (Susp) och turbiditet (Turb) i bassängerna 1 och 2 under dag 2. I x-led visas ingående fas (in), dispersionsfas (disp), klarfas (klar) och utgående fas (ut), y-axlarna visar halterna i mg/l och FNU. Felstaplar inritade i figuren visar på ±15% för suspenderat material och ±20% för turbiditet.*

Figur 16 redovisar kvalitetsparametrar (suspenderat material och turbiditet) och hur de minskar i bassängernas olika delar (ingående fas, dispersionsfas, klarfas och utgående fas) för bassäng 1 och 2 under dag 3.



Figur 16 *- Jämförelse av suspenderade ämnen (Susp) och Turbiditet (Turb) i bassängerna 1 och 2 under dag 3. I x-led visas ingående fas (in), dispersionsfas (disp), klarfas (klar) och utgående fas (ut), y-axlarna visar halterna i mg/l och FNU. Felstaplar inritade i figuren visar på ±15% för suspenderat material och ±20% för turbiditet.*

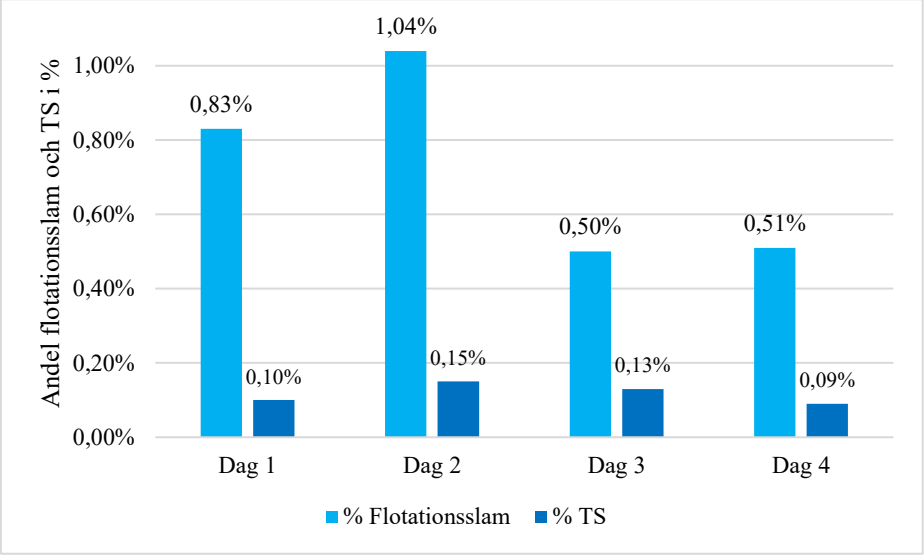
Figur 17 redovisar kvalitetsparametrar (suspenderat material och turbiditet) och hur de minskar i bassängernas olika delar (ingående fas, dispersionsfas, klarfas och utgående fas) för bassäng 1 och 2 under dag 4.



Figur 17 *- Jämförelse av suspenderade ämnen (Susp) och Turbiditet (Turb) i bassängerna 1 och 2 under dag 4. I x-led visas ingående fas (in), dispersionsfas (disp), klarfas (klar) och utgående fas (ut), y-axlarna visar halterna i mg/l och FNU. Felstaplar inritade i figuren visar på ±15% för suspenderat material och ±20% för turbiditet.*

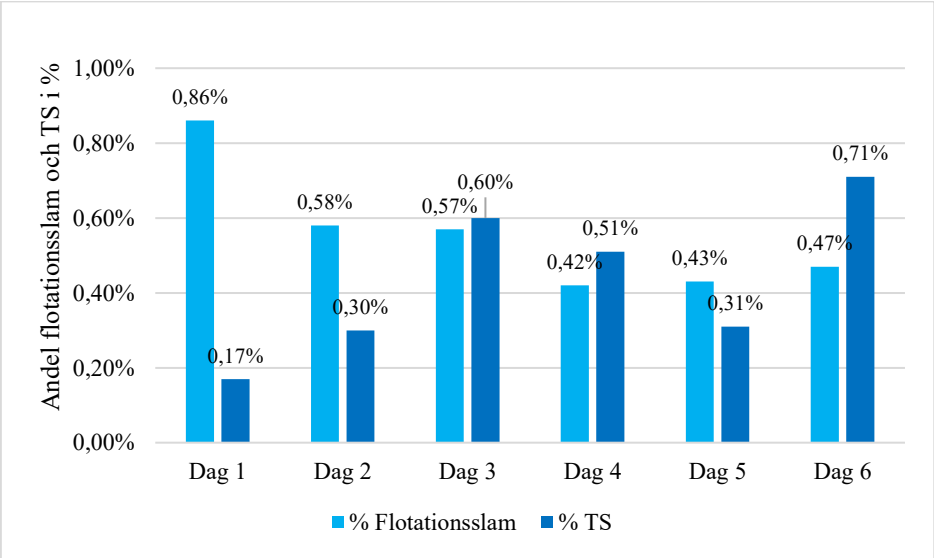
Vidare jämfördes TS-halten med andelen flotationsslam som avlägsnades ur bassängerna 1 och 2. Detta för att undersöka hur mycket slam i procent tas ut i förhållande till flödet genom bassängen. Uppgifter om mängden flotationsslam hämtades från Norrvattens databas. Ett bra resultat i denna del är då TS-halten är så hög som möjligt samtidigt som andelen avlägsnat flotationsslam är så låg som möjligt (det vill säga då så lite vatten som möjligt avlägsnas vid slamuttaget). Exakta osäkerhetsvärden saknas för denna del, detta diskuteras vidare i kapitel 6 (avsnitt 6.3, osäkerhetsanalys).

I figur 18 visas hur både mängden flotationsslam och TS-halten varierar i bassäng 1 mellan de olika provtagningsdagarna under del 1.



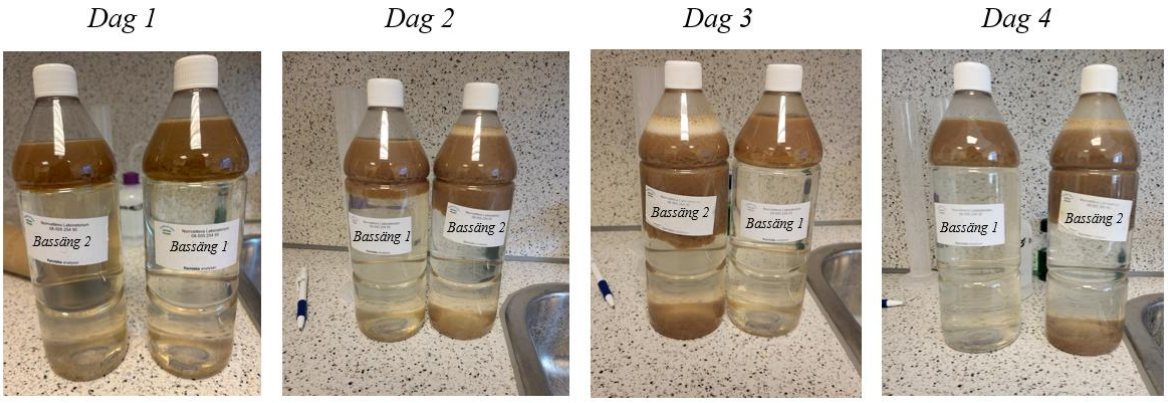
Figur 18 *– Andel flotationsslam och andelen TS under de olika försöksdagarna 1 till 4 i bassäng 1.*

I figur 19 visas hur både mängden flotationsslam och TS-halten varierar i bassäng 2 under del 1 och 2 (motsvarande provtagningsdagarna 1 till 6). Notera att TS-halten i flotationsslammet var särskilt höga under dag 3, 4 och 6.



Figur 19 *– Andel flotationsslam och andelen TS under de olika försöksdagarna 1 till 6 i bassäng 2. Notera att även dagarna från del 2 presenteras här.*

Efter att prover tagits ur slamuttag av bassängerna och analyserats i TS-mätaren lades petflaskorna med proverna åt sidan. Det synliga resultatet av hur flotationsslammet skiktade sig, och flöt till ytan, ses i figur 20. Notera hur bassäng 2 i samtliga fall har en större andel flotationsslam som flyter på ytan i jämförelse med bassäng 1.



Figur 20 *– Skiktning i slamproverna från bassäng 1 och 2 under de olika dagarna.*

5.1.2 Resultat del 2

Under de experimentella provtagningsdagarna genomfördes justeringar av flödet och slamuttaget i de olika flotationsbassängerna. Ytbelastningen i flotation 2 och 4 justerades till samma nivå för att möjliggöra en jämförelse av bassängdimensionens påverkan, då bassäng 2 har en mindre area än bassäng 4. Nedan presenteras en sammanfattning av observationerna från varje provtagningsdag samt inställningsparametrarna i tabellform. För labbresultat se Bilaga *A (Resultat från provtagningar*). Tabell 4 och 5 redovisar dag, datum, flödeshastighet, ytbelastning, intervallerna från bassängernas roterande vals och andelen flotationsslam som togs ur bassängerna. Datat nedan motsvarar del 2 av arbetet.

Tabell 4 *– Inställningsparametrar för* ***Bassäng 2****, del 2. Ytbelastning beräknades enligt ekvation (5), ytbelastningsteorin. Flotationsslam redovisas som andel [%] av totalt dygnsflöde som tas bort vid slamuttaget.*

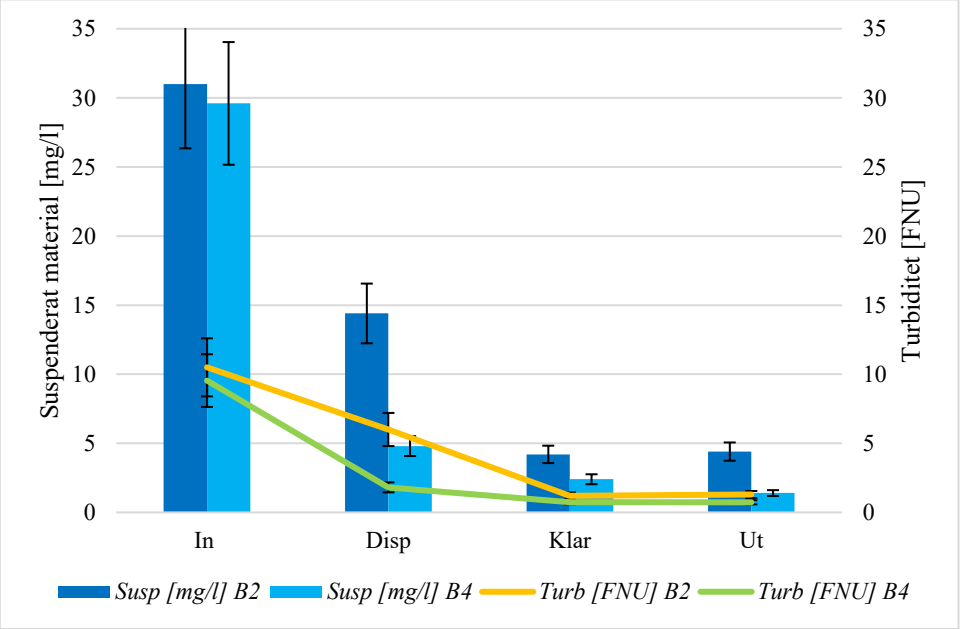
Dag och Datum	Flödeshastighet [l/s]	Ytbelastning [m/h]	Vals-gångtid	Flotationsslam [%]
Dag 5 (1/4)	253	2,1	3 minuter gång, 7 minuter paus.	0,43
Dag 6 (2/4)	289	2,0	3 minuter gång, 7 minuter paus.	0,47

Tabell 5 *– Inställningsparametrar för* ***Bassäng 4****, del 2. Ytbelastning beräknades enligt ekvation (5), ytbelastningsteorin. Flotationsslam redovisas som andel [%] av totalt dygnsflöde som tas bort vid slamuttaget.*

Dag och Datum	Flödeshastighet [l/s]	Ytbelastning [m/h]	Vals-gångtid	Flotationsslam [%]
Dag 5 (1/4)	423	2,3	4 minuter gång, 6 minuter paus.	0,60
Dag 6 (2/4)	456	2,3	6 minuter gång, 9 minuter paus.	0,61

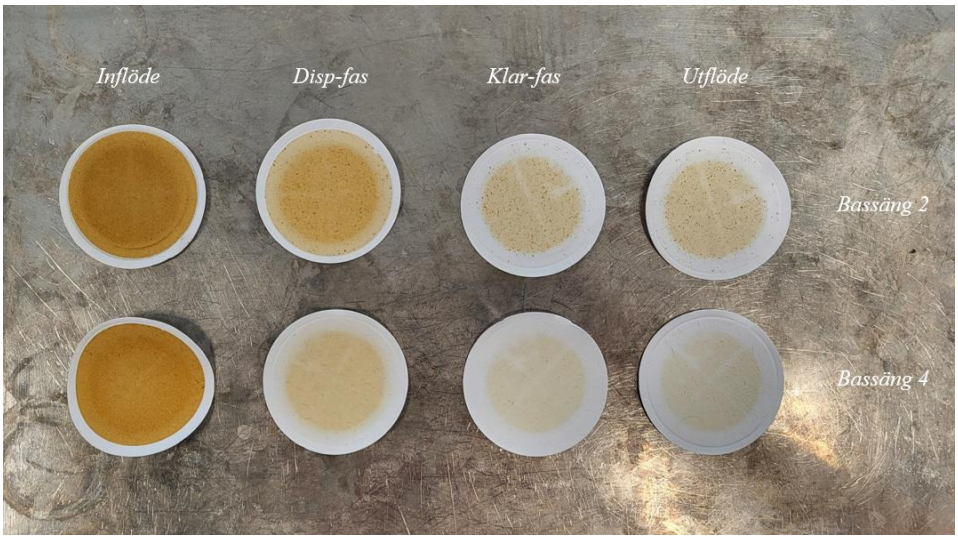
Övriga kommentarer: Under dag 5 och 6 observerades ett konsekvent långt slamtäcke i bassäng 2, vilket försvårade provtagning i dispersionsfasen. I bassäng 4 var slamtäcket kortare båda dagarna, men på dag 6 hade fler slamkolonier bildats i klarfasen jämfört med tidigare. Klarfasen i bassäng 4 var generellt något klarare än i bassäng 2, även om båda bassängerna visade tecken på slamrester efter flotation i klarfasen, vilket krävde manuell tömning.

Vidare undersöktes kvalitetsparametrarna, suspenderat material och turbiditet, i de olika delarna av bassängerna 2 och 4 för att jämföra hur mängden partiklar sjunker i varje steg. Figurerna 21–23 redovisar minskningen av suspenderat material och turbiditeten genom inflödet (in), dispersionsfasen (disp), klarfasen (klas) och utgående flödet (ut). Figur 21 visar dessa kvalitetsparametrar i bassäng 2 och 4 för dag 5, Se Bilaga B (Beräkningar med exakta värden) för exakta värden. Notera skillnaden i suspenderat material som finns kvar i dispersionsfasen och utgående fasen för bassängerna 2 och 4.



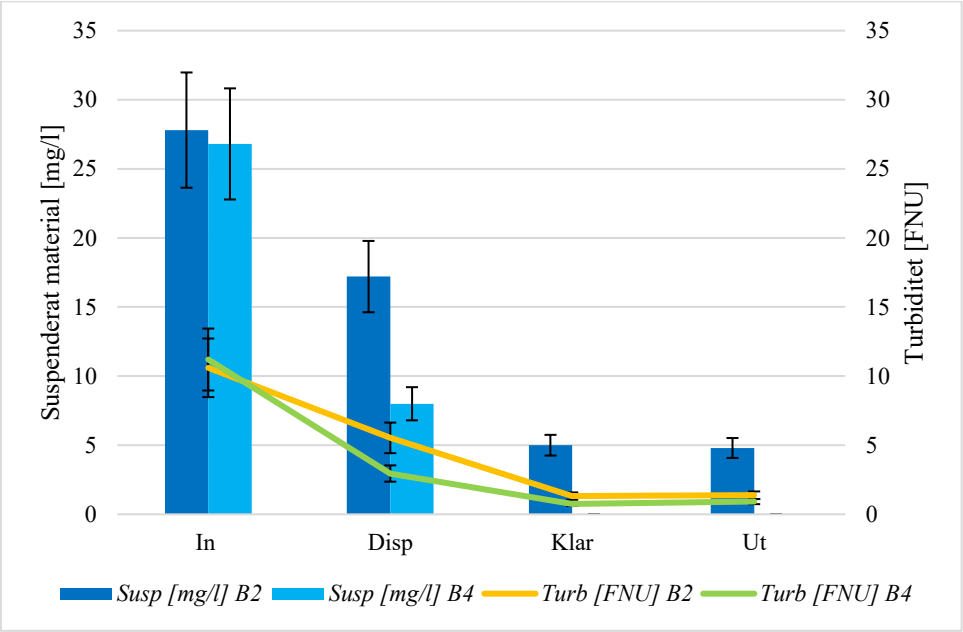
Figur 21 *– Jämförelse av suspenderade ämnen (Susp) och turbiditet (Turb) i bassängerna 2 och 4 under dag 5 (vid samma ytbelastning). I x-led visas ingående fas (in), dispersionsfas (disp), klarfas (klar) och utgående fas (ut), y-axlarna visar halterna i mg/l och FNU. Felstaplar inritade i figuren visar på ±15% för suspenderat material och ±20% för turbiditet.*

Figur 22 visar labbresultat av suspenderat material för bassängerna 2 och 4 under dag 5. Notera hur färgen från de olika proverna bleknar från inflöde till utflöde. Notera även hur bassäng 4 har till synes mindre suspenderat material kvar vid utgående flöde i jämförelse med bassäng 2.



Figur 22 *– Resultat av suspenderat material i bassängerna 2 och 4 från prover i suspenderat material under dag 5. Den övre raden visar resultaten från labb av Bassäng 2, och den undre Bassäng 4. Notera reduktionen av partiklar mellan bassängerna och mellan stegen inflöde, dispersionsfas, klarfas och utflöde.*

Figur 23 redovisar kvalitetsparametrar (suspenderat material och turbiditet) och hur de minskar i bassängernas olika delar (ingående fas, dirpertionsfas, klarfas och utgående fas) för bassäng 2 och 4 under dag 6. Notera även att inget suspenderat material är synligt i klarfasen eller den utgående fasen för bassäng 4, då halterna låg under detektionsgränsen.



Figur 23 – Jämförelse av *suspenderade ämnen (Susp) och turbiditet (Turb) i bassängerna 2 och 4 under dag 6 (vid samma ytbelastning). I x-led visas ingående fas (in), dispersionsfas (disp), klarfas (klar) och utgående fas (ut), y-axlarna visar halterna i mg/l och FNU. Felstaplar inritade i figuren visar på ±15% för suspenderat material och ±20% för turbiditet*.

5.1.3 Resultat del 3

Tabell 6 och 7 nedan visar data från bassängerna 4 och 5, inklusive flödesinställningar samt motsvarande belastningsförhållanden. Under dessa dagar kunde ytbelastningen inte justeras så att båda bassängerna höll likvärdiga flöden. Dessutom krävde slamvalsen i bassäng 5 tätare intervaller än i bassäng 4 för att effektivt hålla undan slamtäcket. Trots dessa skillnader användes resultaten för datainsamling till massbalansberäkningar av PFAS4 samt för utvärdering av den generella reningsprestandan. För detaljer om inställningsparametrar och analysresultat, se Bilaga A (Resultat från provtagningar). Tabell 6 och 7 redovisar dag, datum, flödeshastighet, ytbelastning, intervall för roterande valsar samt andel flotationsslam som avlägsnades från respektive bassäng. Dessa data motsvarar del 3 av arbetet.

***Tabell 6** – Inställningsparametrar för **Bassäng 4**, del 3. Ytbelastning beräknades enligt ekvation (5), ytbelastningsteorin. Flotationsslam redovisas som andel [%] av totalt dygnsflöde som tas bort vid slamuttaget.*

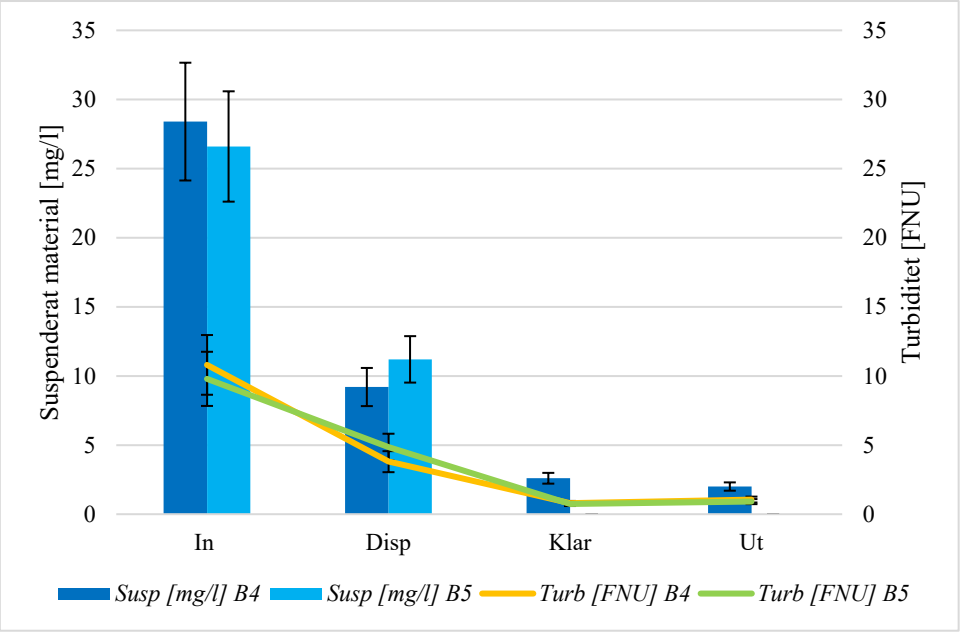
Dag och Datum	Flödeshastighet [l/s]	Ytbelastning [m/h]	Vals-gångtid	Flotationsslam [%]
Dag 7 (8/4)	577	3,2	6 minuter gång, 9 minuter paus.	0,40
Dag 8 (9/4)	416	2,3	6 minuter gång, 9 minuter paus.	0,45

***Tabell 7** – Inställningsparametrar för **Bassäng 5**, del 3. Ytbelastning beräknades enligt ekvation (5), ytbelastningsteorin. Flotationsslam redovisas som andel [%] av totalt dygnsflöde som tas bort vid slamuttaget.*

Dag och Datum	Flödeshastighet [l/s]	Ytbelastning [m/h]	Vals-gångtid	Flotationsslam [%]
Dag 7 (8/4)	488	2,7	7 minuter gång, 8 minuter paus.	0,75
Dag 8 (9/4)	379	2,2	7 minuter gång, 8 minuter paus.	0,75

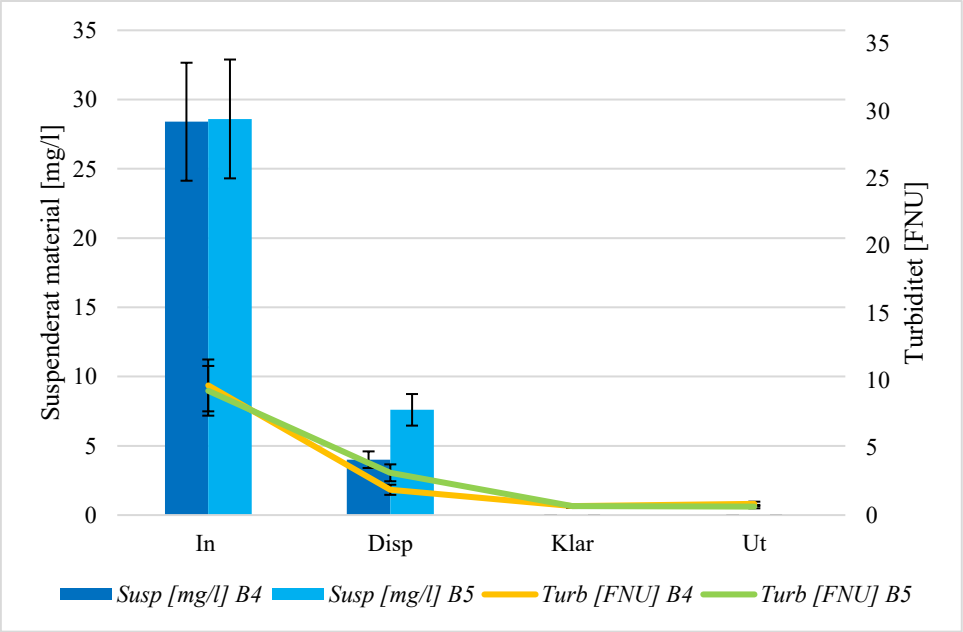
Övriga kommentarer: Bassäng 4 uppvisade tydlig slambildning i klarfasen vid båda tillfällena, medan mängden slam i klarfasen var mindre uttalad i bassäng 5.

Vidare undersöktes kvalitetsparametrarna, suspenderat material och turbiditet, i de olika delarna av bassängerna 4 och 5 för att jämföra hur mängden partiklar sjunker i varje steg. Figurerna 24 och 25 redovisar minskningen av suspenderat material och turbiditeten genom inflödet (in), dispersionsfasen (disp), klarfasen (klas) och utgående flödet (ut). Figur 24 visar dessa kvalitetsparametrar i bassäng 4 och 5 för dag 7, Se Bilaga B (Beräkningar med exakta värden) för exakta värden. Notera hur turbiditeten och mängden suspenderat material minskade avsevärt från det ingående till det utgående vattnet. Notera även hur suspenderat material ibland föll så lågt att de hamnade under metodens detektionsgräns.



Figur 24 *– Jämförelse av suspenderade ämnen (Susp) och turbiditet (Turb) i bassängerna 4 och 5 under dag 7. I x-led visas ingående fas (in), dispersionsfas (disp), klarfas (klar) och utgående fas (ut), y-axlarna visar halterna i mg/l och FNU. Felstaplar inritade i figuren visar på ±15% för suspenderat material och ±20% för turbiditet.*

Figur 25 redovisar kvalitetsparametrar (suspenderat material och turbiditet) och hur de minskar i bassängernas olika delar (ingående fas, dispersionsfas, klarfas och utgående fas) för bassäng 4 och 5 under dag 8.

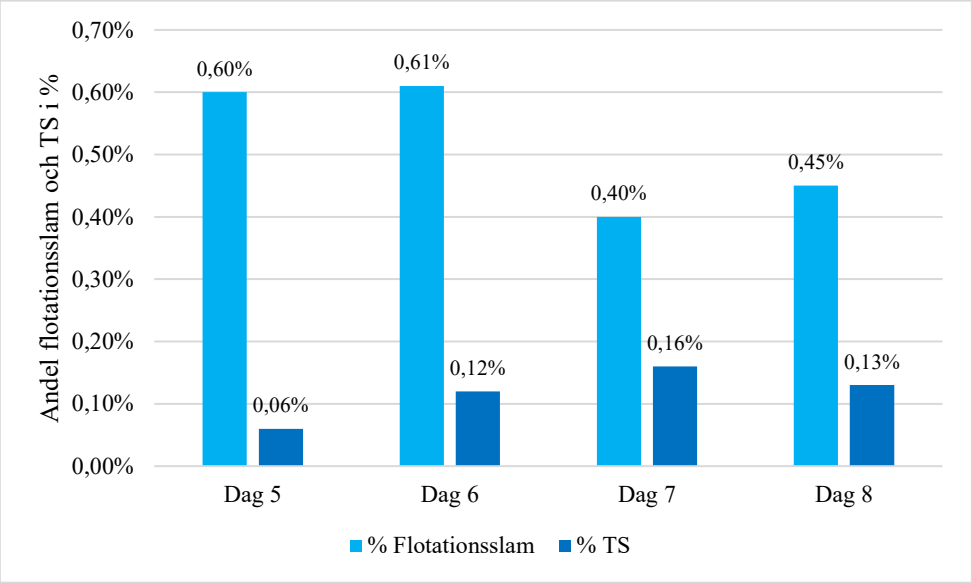


Figur 25 *– Jämförelse av suspenderade ämnen (susp) och turbiditet (turb) i bassängerna 4 och 5 under dag 8. I x-led visas ingående fas (in), dispersionsfas (disp), klarfas (klar) och utgående fas (ut), y-axlarna visar halterna i mg/l och FNU. Felstaplar inritade i figuren visar på ±15% för suspenderat material och ±20% för turbiditet.*

Vidare jämfördes TS-halten med andelen flotationsslam som avlägsnades ur bassängerna 4 och 5. Detta för att undersöka hur mycket slam som i procent tas ut i förhållande till flödet genom bassängen. Uppgifter om mängden flotationsslam hämtades från Norrvattens databas. Ett bra resultat i denna del är då TS-halten är så hög som möjligt samtidigt som andelen avlägsnat flotationsslam är så låg som möjligt (det vill säga då så lite vatten som möjligt

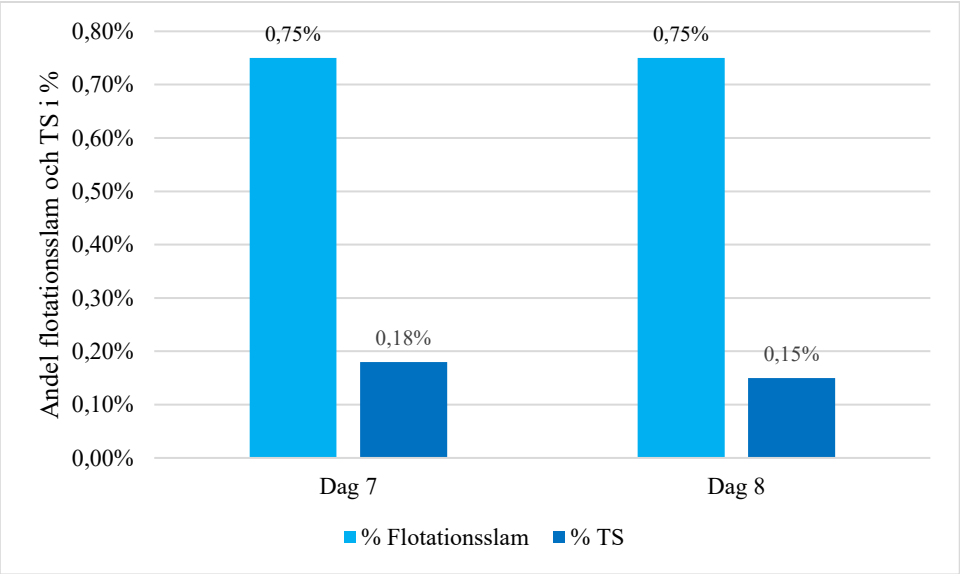
avlägsnas vid slamuttaget). Exakta osäkerhetsvärden saknas för denna del, detta diskuteras vidare i kapitel 6 (avsnitt 6.3, osäkerhetsanalys).

I figur 26 visas hur både mängden flotationsslam och TS-halten varierar i bassäng 4 under del 2 och 3 (motsvarande provtagningsdagarna 5 till 8).



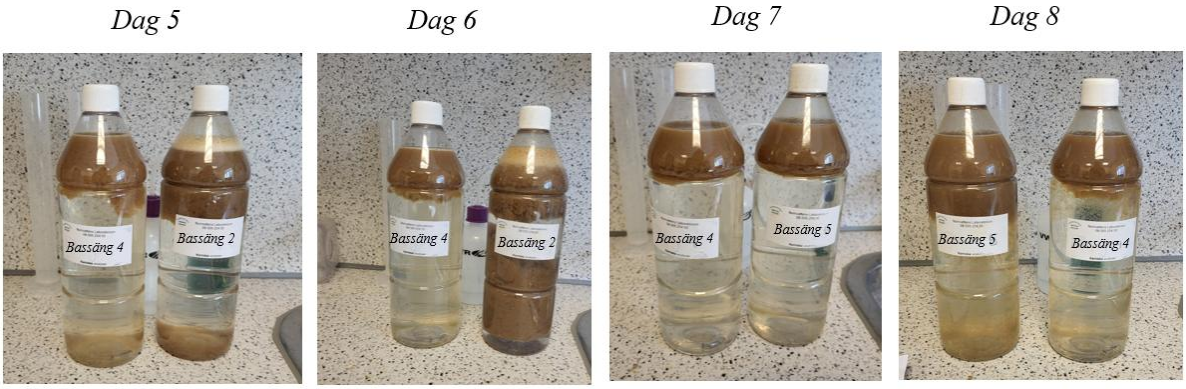
Figur 26 *– Andel flotationsslam mot andelen TS under de olika försöksdagarna 5-8 i bassäng 4.*

I figur 27 visas hur både mängden flotationsslam och TS-halten varierar i bassäng 5 mellan olika provtagningsdagar under del 3.



Figur 27 *– Andel flotationsslam mot andelen TS under de olika försöksdagarna 7 och 8 i bassäng 5.*

Efter att prover tagits ur slamuttag av bassängerna och analyserats i TS-mätaren lades petflaskorna med proverna åt sidan. Det synliga resultatet av hur flotationsslammet skiktade sig, och flöt till ytan, ses i figur 28. Notera hur bassäng 2 under dag 6 har en markant större andel flotationsslam.



Figur 28 *– Skiktning i slamproverna från bassäng 4 och 2 samt 4 och 5.*

5.2 PFAS4 och osäkerhet

Under experimentet uppmättes PFAS4-värden som alla höll sig under det kommande gränsvärdet på 4 ng/l, se tabellerna 7–12 nedan. PFAS4 halterna i råvatten och bassängerna angavs från labb, differensen mellan dessa beräknades likt formeln nedan:

$$PFAS_{in} - PFAS_{ut} = PFAS_{differens} \tag{6}$$

där,
$PFAS_{in}$ = PFAS4 halten från råvattnet
$PFAS_{ut}$ = PFAS4 halterna i bassängens utgående del

Mätosäkerheten angavs för varje undergrupp inom PFAS4, och den sammanslagna osäkerheten beräknades med hjälp av kvadratsummeringsmetoden. Den totala osäkerheten, u_{total}, beräknades enligt följande (Chong u.å.):

$$u_{total} = \sqrt{u_{PFOA}^2 + u_{PFOS}^2 + u_{PFHxS}^2} \tag{7}$$

där u_{PFOA}, u_{PFOS} *och* u_{PFHxS} i ekvation (7) motsvarar mätosäkerheten för varje undergrupp. Värt att notera är att PFNA inte inkluderades i den slutgiltiga analysen då halterna i samtliga prover var så låga att de föll under dess detektionsgräns. PFNA har därför uteslutits från såväl resultat- som osäkerhetsberäkningarna, då enbart de PFAS-grupper motsvarande PFAS3 upptäcktes över detektionsgränsen.

Sammanslagningen av mätfelen bidrog till en relativt stor osäkerhet, något som diskuteras vidare i kapitel 6. För detaljerade värden avseende de enskilda mätfelen och deras inverkan, hänvisas till bilagorna (*D. Osäkerhetsberäkningar*).

5.2.1 Resultat del 1

Tabell 8 och 9 redovisar uppmätta PFAS4-värden och en beräknad reduktion för bassäng 1 och 2 under del 1. Tabellen visar PFAS4-halten i råvattnet, vid utgående delen i bassängen (efter flotation), differensen mellan dessa samt det uppskattade mätfelet. Notera hur differensen i PFAS4 skiljer sig mellan bassängerna under dagarna (då de även eftersträvades

samma ytbelastning). Notera även att differensen här i vissa fall blev negativ, detta diskuteras vidare i kapitel 6 (6.3 Osäkerhetsanalys).

Tabell 8 *– PFAS4 halterna i råvatten, i* ***bassäng 1*** *utgående fas och en beräkning av reduktionen [ng/l] samt en uppskattad mätosäkerhet.*

	Råvatten ng/l	***Utgående ng/l***	***Differens ng/l***	***Mätosäkerhet (+-) ng/l***
Dag 1	3	2,7	0,3	0,64
Dag 2	2,8	2,9	-0,1	0,60
Dag 3	3,4	2,8	0,6	0,71
Dag 4	3	2,4	0,6	0,64

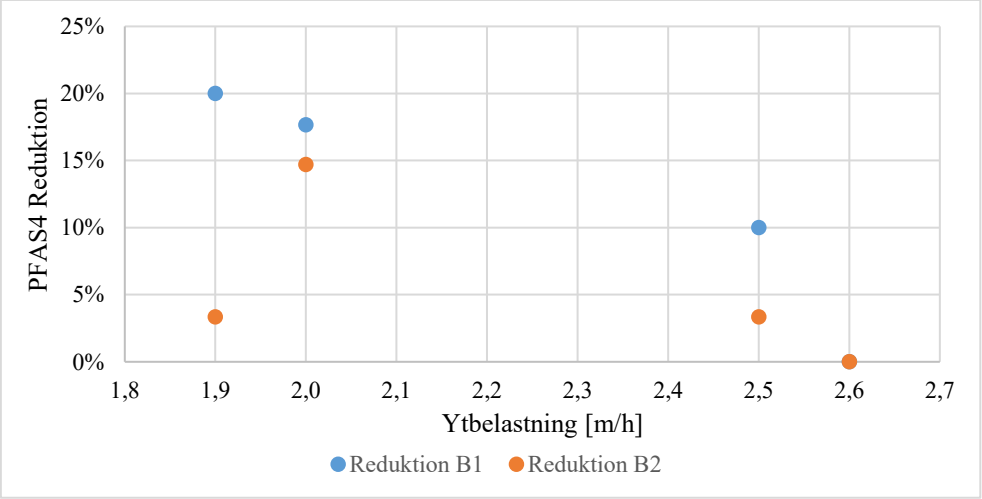
Tabell 9 *– PFAS4 halterna i råvatten, i* ***bassäng 2*** *utgående fas och en beräkning av reduktionen [ng/l] samt en uppskattad mätosäkerhet.*

	Råvatten ng/l	***Utgående ng/l***	***Differens ng/l***	***Mätosäkerhet (+-) ng/l***
Dag 1	3	2,9	0,1	0,64
Dag 2	2,8	3	-0,2	0,60
Dag 3	3,4	2,9	0,5	0,71
Dag 4	3	2,9	0,1	0,64

Den procentuella reduktionen av PFAS beräknades enligt:

$$\frac{PFAS_{differens}}{PFAS_{in}} \cdot 100 \tag{8}$$

Figur 29 visar PFAS4-reduktionen i bassäng 1 och 2 under samma dagar (lika högt PFAS i råvattnet) och vid samma flödesinställningar. Notera skillnaden av PFAS4-reduktion mellan de två bassängerna samt hur PFAS4-reduktionen i bassäng 1 ökade vid lägre ytbelastningar.



Figur 29 *– PFAS4 reduktion mot ytbelastning i bassäng 1 (B1) och 2 (B2) under försöksdagarna 1–4.*

För PFAS4 reduktion i bassängerna var för sig, som för bassäng 2 även inkluderar slamvalstiden, se Bilaga C *(PFAS4 beräkningar)*.

5.2.2 Resultat del 2

Tabell 10 och 11 redovisar uppmätta PFAS4-värden och en beräknad reduktion för bassäng 2 och 4 under del 2, notera mätosäkerheten. Notera även differensen i PFAS4 mellan råvattnet och utgående vattnet i bassängerna 1 och 2, samt hur detta skiljer sig mellan bassängerna under samma dagar (då de även eftersträvades samma ytbelastning).

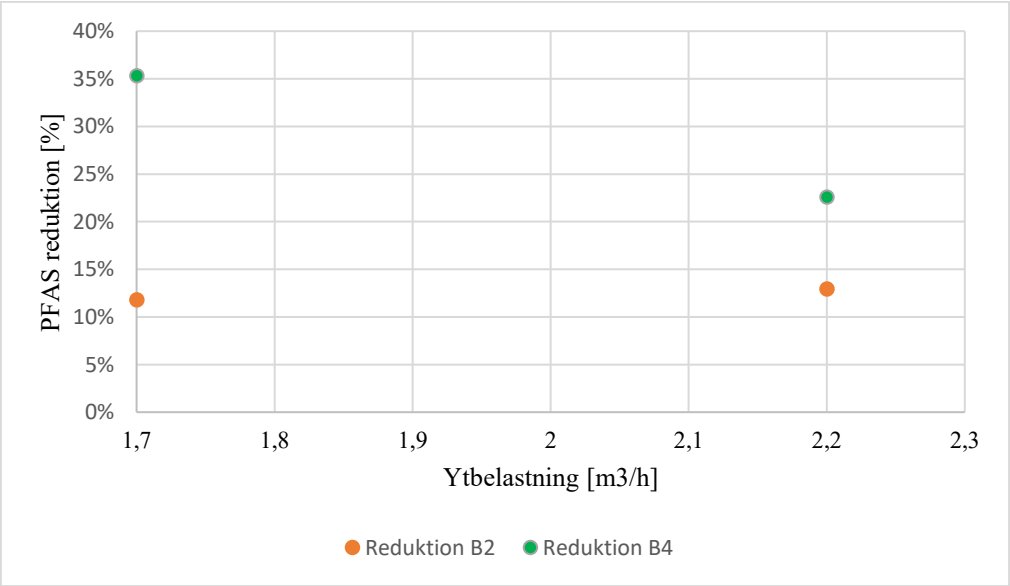
Tabell 10 *– PFAS4 halterna i råvatten, i* ***bassäng 2*** *utgående fas och en beräkning av reduktionen [ng/l] samt en uppskattad mätosäkerhet.*

	Råvatten ng/l	***Utgående ng/l***	***Differens ng/l***	***Mätosäkerhet (+-) ng/l***
Dag 5	3,1	2,7	0,4	0,66
Dag 6	3,4	3	0,4	0,69

Tabell 11 *– PFAS4 halterna i råvatten, i* ***bassäng 4*** *utgående fas och en beräkning av reduktionen [ng/l] samt en uppskattad mätosäkerhet*

	Råvatten ng/l	***Utgående ng/l***	***Differens ng/l***	***Mätosäkerhet (+-) ng/l***
Dag 5	3,1	2,4	0,7	0,66
Dag 6	3,4	2,2	1,2	0,69

Figur 30 visar en jämförelse av PFAS4-reduktionen i bassäng 2 och 4 under samma dagar (lika högt PFAS i råvattnet) och vid samma ytbelastning. Notera skillnaden av PFAS4-reduktion mellan de två bassängerna samt hur PFAS4-reduktionen för bassäng 4 ökade vid lägre ytbelastningar.



Figur 30 *– PFAS4 reduktion mot ytbelastning i bassäng 2 (B2) och 4 (B4) under dagarna 5 och 6.*

För PFAS4 reduktion i Bassäng 4, se Bilaga *C (PFAS4 beräkningar)*.

5.2.3 Resultat del 3

Tabell 12 och 13 redovisar uppmätta PFAS4-värden och en beräknad reduktion för bassäng 4 och 5 under del 3, notera mätosäkerheten.

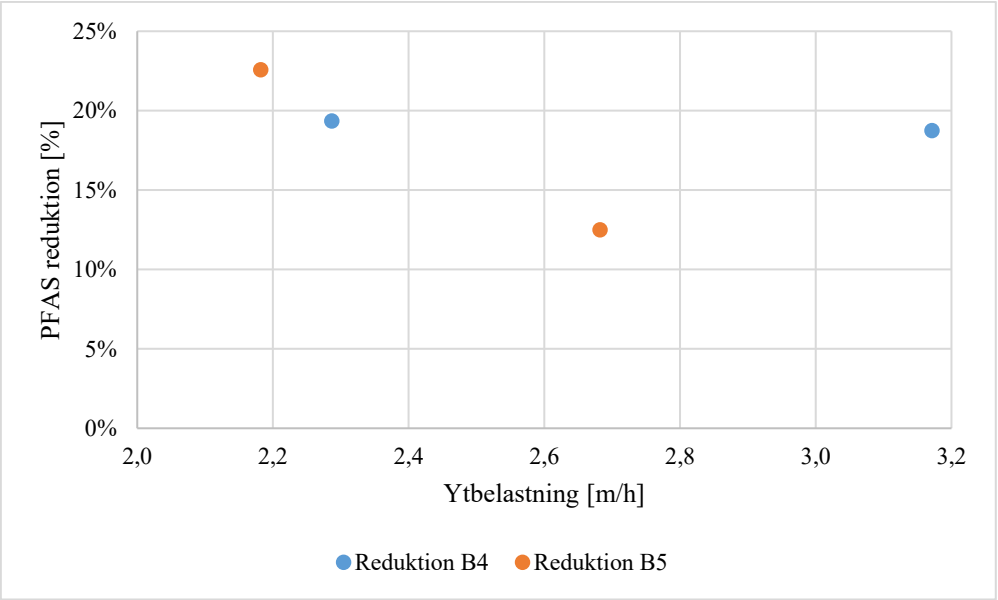
Tabell 12 *– PFAS4 halterna i råvatten, i* ***bassäng 4*** *utgående fas och en beräkning av reduktionen [ng/l] samt en uppskattad mätosäkerhet.*

	Råvatten ng/l	***Utgående ng/l***	***Differens ng/l***	***Mätosäkerhet (+-) ng/l***
Dag 7	3,2	2,6	0,6	0,69
Dag 8	3,1	2,5	0,6	0,62

Tabell 13 *– PFAS4 halterna i råvatten, i* ***bassäng 5*** *utgående fas och en beräkning av reduktionen [ng/l] samt en uppskattad mätosäkerhet.*

	Råvatten ng/l	***Utgående ng/l***	***Differens ng/l***	***Mätosäkerhet (+-) ng/l***
Dag 7	3,2	2,8	0,4	0,69
Dag 8	3,1	2,4	0,7	0,62

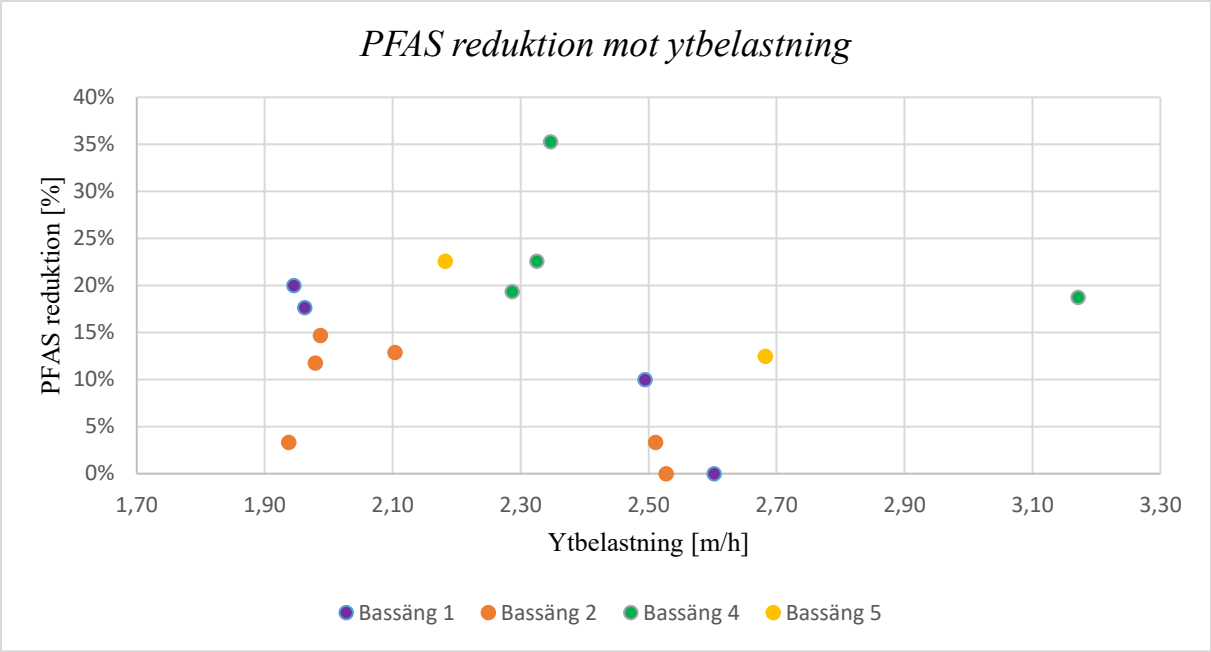
Figur 31 visar hur bassäng 4 och 5 varierar i PFAS4 reduktion vid olika ytbelastningar. Notera skillnaden av PFAS4-reduktion mellan de två bassängerna samt hur PFAS4-reduktionen ökar vid lägre ytbelastningar.



Figur 31 *– PFAS4 reduktion mot ytbelastning i bassäng 4 (B4) och 5 (B5) under dagarna 7 och 8.*

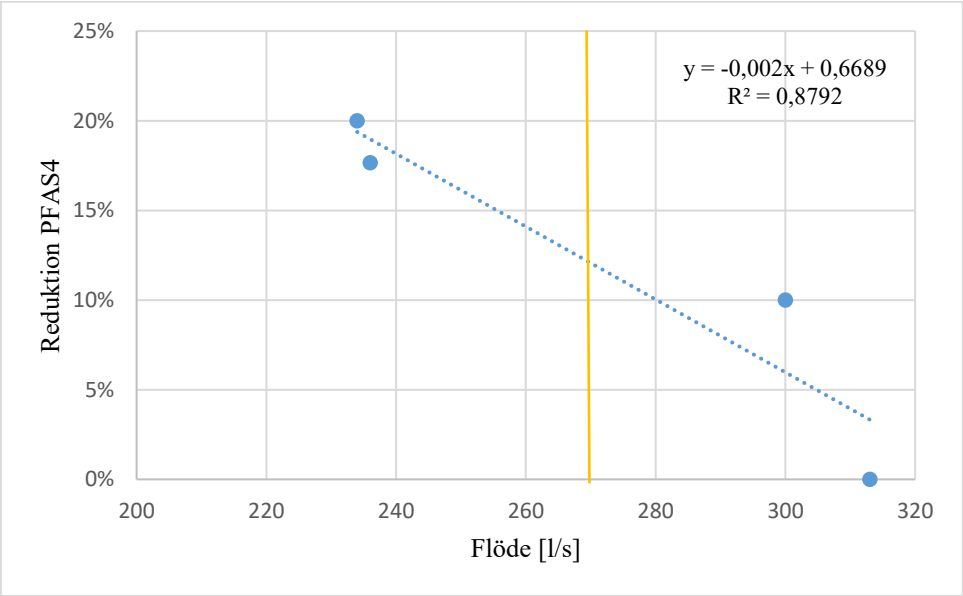
5.3 PFAS4 med tidigare år

Figur 32 redovisar samtliga bassängers varians i PFAS4 reduktion vid olika ytbelastningar. Notera att bassäng 2 har en lägre PFAS4-reduktion än bassäng 1 vid samma ytbelastning. Notera även att bassäng 5 har en lägre PFAS4-reduktion än bassäng 4 vid motsvarande ytbelastningar samt att båda dessa bassänger presterar bättre i PFAS4-reduktion i jämförelse med bassäng 1 och 2.

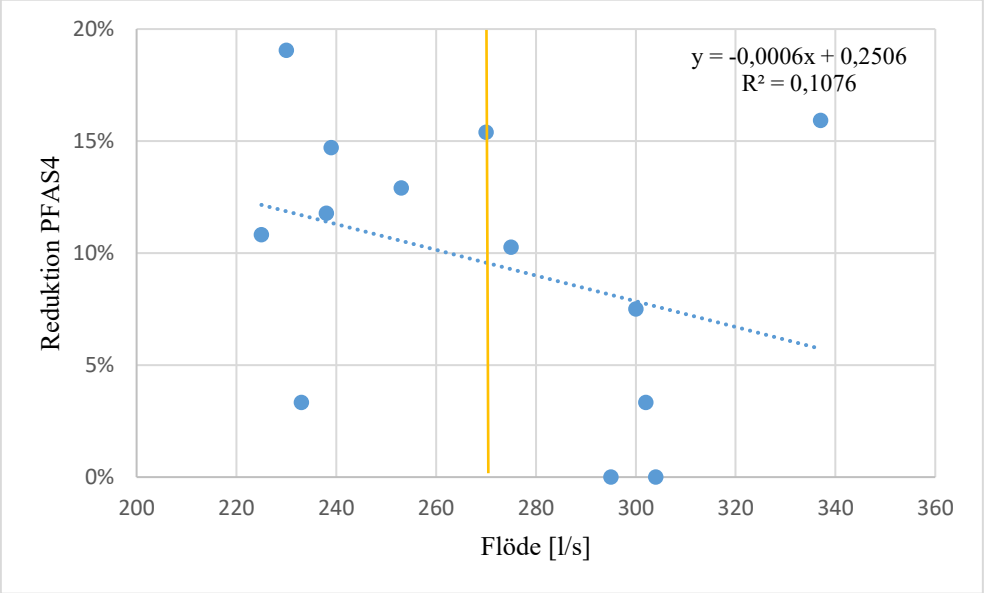


Figur 32 *– Samanställning av bassäng 1, 2, 4 och 5 med PFAS4 reduktion mot ytbelastning.*

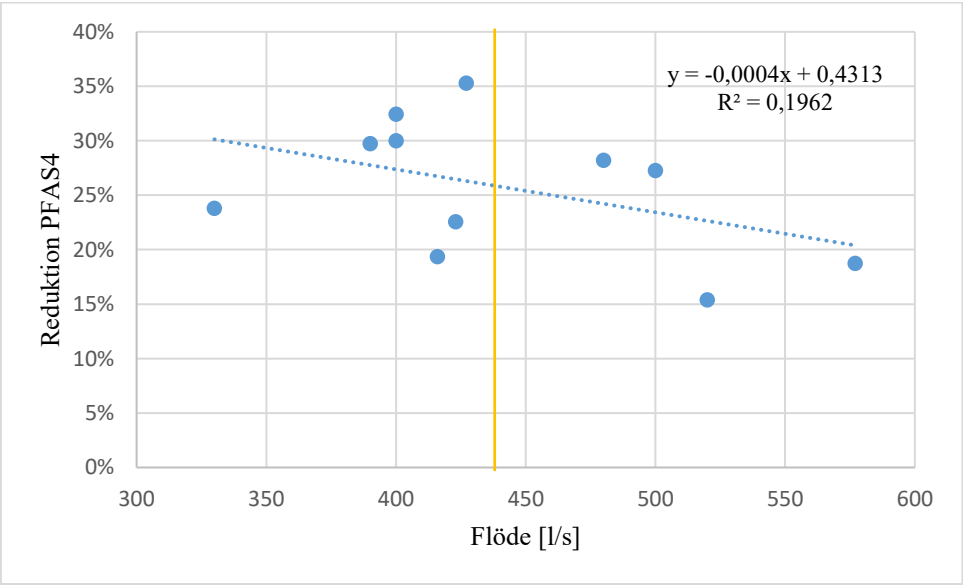
Nedan visas en PFAS4-reduktionen mot olika flöden, sammanslaget data från examensarbetarna av Vikström (2023) och Dahn (2024) användes för denna sammanställning. I figurerna 33–36 redovisas resultaten för bassäng 1, 2, 4 och 5. Det gula strecket är markerat i samtliga figurer och markerar ett flödesmedelvärde av provtagningarna. För kompletterande värden bakom graferna, se Bilaga *C (PFAS4 beräkningar)*. Notera även att det vid lägre flödeshastigheter motsvarar en högre PFAS4-reduktion i samtliga figurer.



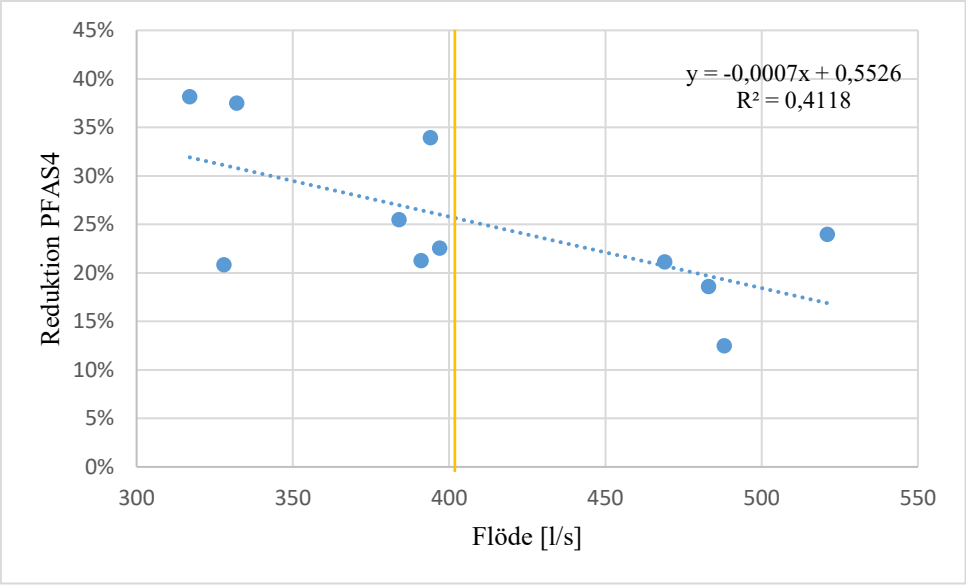
Figur 33 *– PFAS4 reduktion mot flöde i bassäng 1. Gult streck markerar ett flödesmedelvärde av provtagningarna.*



Figur 34 *– PFAS4 reduktion mot flöde i bassäng 2. Gult streck markerar ett flödesmedelvärde av provtagningarna.*

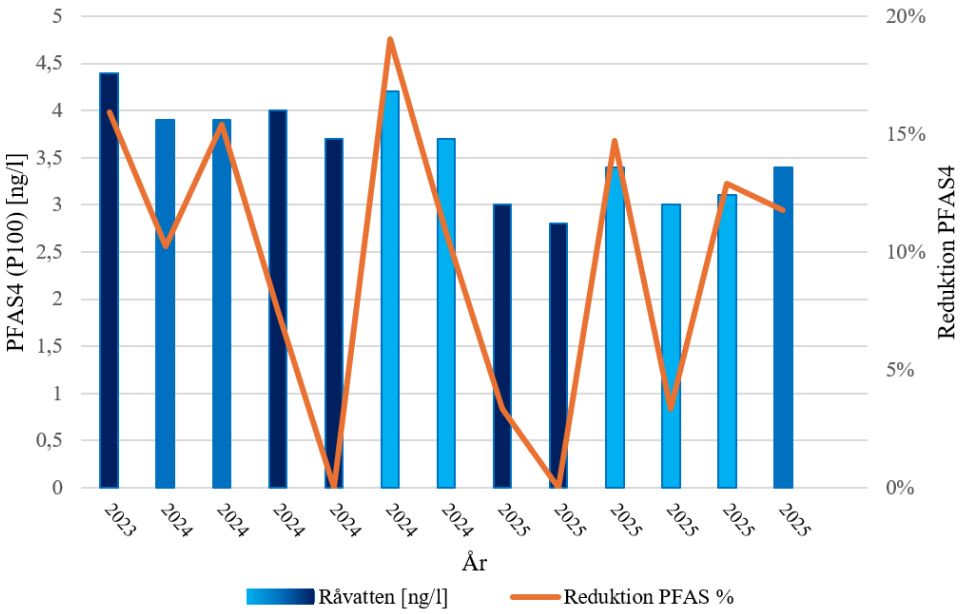


Figur 35 *– PFAS4 reduktion mot flöde i bassäng 4. Gult streck markerar ett flödesmedelvärde av provtagningarna.*



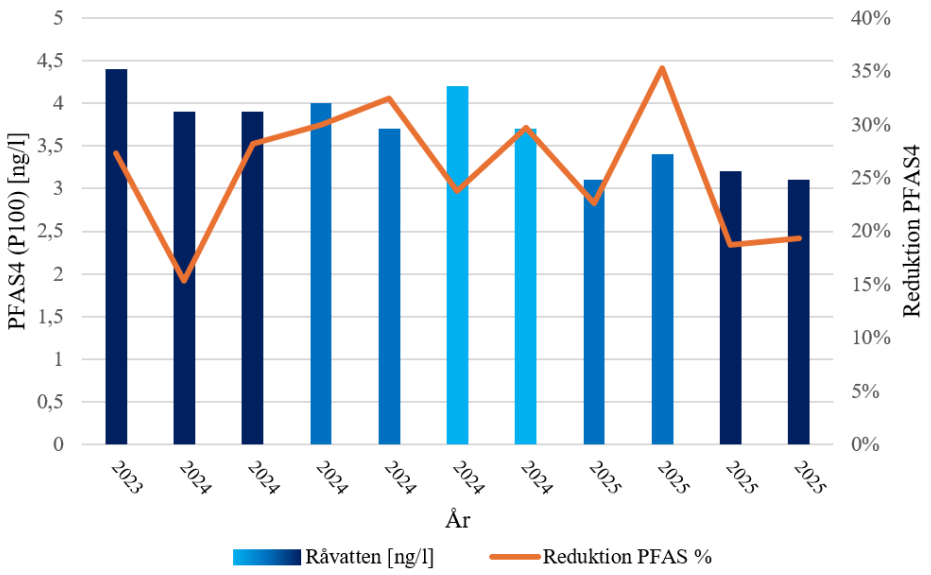
Figur 36 *– PFAS4 reduktion mot flöde i bassäng 5. Gult streck markerar ett flödesmedelvärde av provtagningarna*

I figur 37 och 38 visas PFAS4 reduktionen i bassäng 2 respektive bassäng 4, för åren 2023, 2024 och 2025 vid olika flöden samt med olika halter av PFAS4 i råvattnet. De olika flödeshastigheterna presenteras som olika färger och är baserade på flödesklassificeringarna i Tabell 1. I figur 37 visas PFAS4-reduktionen samt PFAS4-halten i råvattnet för bassäng 2, notera hur en bättre reduktion uppstår vid högre halter i råvattnet samt vid lägre flöden.



Figur 37 *– De varierande PFAS-halterna i råvatten under åren 2023–2025 och PFAS-reduktionen under de olika dagarna i bassäng 2. Mörkblå Råvattenstapel = högt flöde i bassängen och Ljusblå Råvattenstapel = lågt flöde. P100 är en labb-förkortning för råvatten.*

I figur 38 visas PFAS4-reduktionen samt PFAS4-halten i råvattnet för bassäng 4, notera hur PFAS4-reduktionen skiljer sig i bassäng 4 från bassäng 2.



Figur 38 *– De varierande PFAS-halterna i råvatten under åren 2023–2025 och PFAS-reduktionen under de olika dagarna i bassäng 4. Mörkblå Råvattenstapel = högt flöde i bassängen och Ljusblå Råvattenstapel = lågt flöde. P100 är en labb-förkortning för råvatten.*

5.4 Massbalans

Massbalansen beräknades både i det utgående dricksvattnet (se tabell 14 och 15) och i flotationsslam (se tabell 16 till 18). För beräkningar med siffror, se bilaga E. (*Massballansberäkningar*). Massbalansen i slammet beräknades enligt:

$$\frac{PFAS_{red} \cdot DV}{Slam_{vol}} = PFAS_{slam} \tag{9}$$

där,
$PFAS_{red}$ = Reducerad PFAS [ng/l]
DV = dygnsvolym genomgående vatten från en bassäng [m^3/dygn]
$Slam_{vol}$ = Volymen flotationsslam [m^3/dygn]
$PFAS_{slam}$ = koncentrationen av PFAS i flotationslam [ng/l]

Därefter beräknades massbalansen i dricksvatten enligt:

$$\frac{PFAS_{ut} \cdot DV}{DV_{tot}} = PFAS_{vatten} \tag{10}$$

där,
$PFAS_{ut}$ = PFAS i utgående vatten från en bassäng [ng/l]
DV_{tot} = total sammanslagen dygnsvolym från samtliga bassänger och pulsatorn [m^3/dygn]
$PFAS_{vatten}$ = PFAS i dricksvattnet [ng/l]

Beräkningarna genomfördes för samtliga bassänger och pulsatorn, samt summerades för att få fram den totala mängden PFAS i det producerade dricksvattnet. Tabell 14 och 15 visar parametrarna från massbalansberäkningarna baserat på provtagningar under 2025. Den ena tabellen redovisar resultat från dagar då bassängerna kördes med högt flöde, och den andra från dagar med lågt flöde.

Observera att ingen rening sker i bassäng 3 eller i pulsatorn, samt att flödet genom dessa hölls konstant på 130 l/s respektive 400 l/s. För mer detaljerade beräkningar, se Bilaga E (*Massbalansberäkningar*).

Tabell 14 *- Parametrar för beräkning av massbalans av PFAS4 i dricksvatten vid provtagningarnas lägsta flöden. Flödena motsvarar en dygnsproduktion på cirka 155 000 m³/dygn.*

	Bassäng 1	***Bassäng 2***	***Bassäng 3***	***Bassäng 4***	***Bassäng 5***	***Pulsator***
PFAS4 ng/l (Råvatten)	3	3	3,05	3,1	3,1	3,05
Reduktion %	20%	3%	0%	19%	23%	0%
Flöde l/s	234	233	130	416	397	400

Med flödesinställningarna i tabell 14 och deras motsvarande reduktion beräknades den sammanslagna utgående koncentration av PFAS4 till 2,7 ng/l. Detta motsvarar en total reduktion på cirka 11%.

Tabell 15 *- Parametrarna för beräkning av massbalans av PFAS4 i dricksvatten vid provtagningarnas högsta flöden. Flödena motsvarar en dygnsproduktion på cirka 190 000 m³/dygn.*

	Bassäng 1	***Bassäng 2***	***Bassäng 3***	***Bassäng 4***	***Bassäng 5***	***Pulsator***
PFAS4 ng/l (Råvatten)	2,8	2,8	3	3,2	3,2	3
Reduktion %	0%	0%	0%	19%	13%	0%
Flöde l/s	313	304	130	577	488	400

Med flödesinställningarna i tabell 15 och deras motsvarande reduktion beräknades den sammanslagna utgående koncentration av PFAS4 till 2,8 ng/l. Detta motsvarar en total reduktion på cirka 7%.

För att beräkna massbalansen av slam analyserades även sambandet mellan slamuttag och flöde, se Bilaga F *(Optimeringsberäkningar).* Beräkningarna baseras på hur mycket slam som faktiskt togs ut under försöksdagarna. Ekvationerna (11–14) visas sambanden mellan flotationsslam och flöde som användes i massbalansen för att enklare kunna beräkna mängden vatten som försvinner med slamuttag.

Samband flotationsslam mot flöde i Bassäng 1 (R^2=0,95):

$$slam = 0{,}0234 \cdot flöde - 4{,}4112 \tag{11}$$

där,
flöde = vattenflödet i [l/s] genom bassängen
slam = flotationsslammet som tas ut i [l/s]

Flotationsslammet i bassäng 2, 4 och 5 anges i [l/min] istället för [l/s] då hänsyn till slamvals intervallen (som anges i minuter) tas.

Samband flotationsslam mot flöde i Bassäng 2 (R^2=0,99):

$$slam = 0{,}84 \cdot flöde + 6{,}2452 \quad (12)$$

Samband flotationsslam mot flöde i Bassäng 4 (R^2=0,24):

$$slam = 0{,}75 \cdot flöde - 83 \quad (13)$$

Samband flotationsslam mot flöde i Bassäng 5 (R^2=0,90):

$$slam = 1{,}02 \cdot flöde - 81 \quad (14)$$

Tabell 16 visar tidsintervallen då slamvalsen var i drift under samtliga beräkningar relaterade till slam. Tabell 17 och 18 redovisar massbalansen av PFAS4 i slam under samma förhållanden som vid beräkningarna av PFAS4 i dricksvatten, det vill säga vid de lägsta respektive högsta flödena under provtagningsdagarna. För kompletterande beräkningar se Bilaga E (*Massbalansberäkningar*).

Tabell 16 – *Intervallen som slamvalsen var i gång i beräkningar av PFAS4 i slam. Dessa användes för att beräkna volymen slam per dygn.*

	Bassäng 2	***Bassäng 4***	***Bassäng 5***
Tid slamvals [min]	4 gång, 6 paus	6 gång, 9 paus	7 gång, 8 paus

Tabell 17 - *Nedan visas parametrar för beräkning av Massbalans av slam vid provtagningarnas lägsta flöden. Flödena motsvarar en dygnsproduktion på cirka 155 000 m^3/dygn. Råvattenhalt på 3 [ng/l]*

	Bassäng 1	***Bassäng 2***	***Bassäng 3***	***Bassäng 4***	***Bassäng 5***	***Pulsator***
Reduktion %	20%	3%	0%	19%	23%	0%
Flöde l/s	234	233	130	416	397	400

Baserat på flödesinställningarna i tabell 17 och de tillhörande reduktionsnivåerna beräknades den sammanlagda koncentrationen av PFAS4 i slam till 0,059 gram per dygn. Utslaget över ett helt år skulle detta motsvara cirka 22 gram per år.

Tabell 18 - *Nedan visas parametrar för beräkning av massbalans av slam vid provtagningarnas lägsta flöden. Flödena motsvarar en dygnsproduktion på cirka 190 000 m^3/dygn. Råvattenhalt på 3 [ng/l].*

	Bassäng 1	***Bassäng 2***	***Bassäng 3***	***Bassäng 4***	***Bassäng 5***	***Pulsator***
Reduktion %	0%	0%	0%	19%	13%	0%
Flöde l/s	313	304	130	577	488	400

Baserat på flödesinställningarna i tabell 18 och de tillhörande reduktionsnivåerna beräknades den sammanlagda mängden av PFAS4 i slam till 0,045 gram per dygn. Utslaget över ett helt år skulle detta motsvara cirka 16 gram per år.

5.5 Optimering

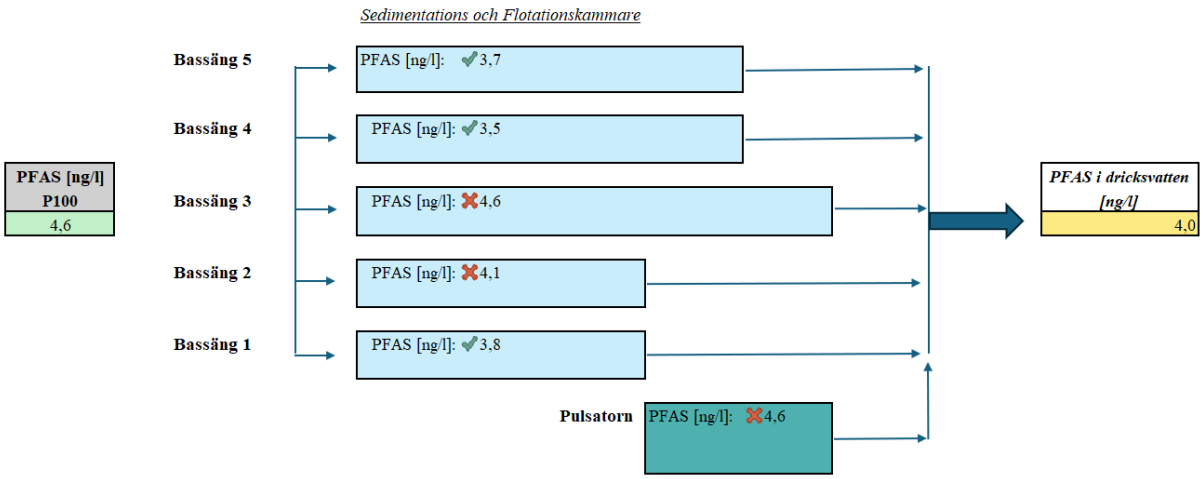
Med massbalansen som en grund byggdes en mycket förenklad modell av sedimentations och flotationsdelen som inkluderar de fem bassängerna och pulsatorn. Modellen visar sambandet mellan PFAS4-reduktion och flöde (motsvarande figurerna 33–36 under rubriken *5.3 PFAS4 med tidigare år*) i syfte att uppskatta vilken reningseffekt som uppstår vid olika flödesnivåer. Tolkningen av vilka flöden som antas ge en "god reduktion" baseras på de lägre flödena till vänster om de gula linjerna i figurerna 33–36. I likhet med massbalansberäkningarna är flödet genom bassäng 3 satt till cirka 130 l/s och genom pulsatorn till 400 l/s. I figurtexterna redovisas även dygnsproduktionen av vatten som skulle kunna tas genom bassängerna och pulsatorn, det skållade fällningssteget, om flödesinställningarna hålls konstanta över ett dygn.

Modellen är konstruerad för att visa vilken koncentration i råvattnet som, efter behandling, leder till en sammanslagen PFAS4-reduktion som resulterar i en koncentration på 4 ng/l i det producerade dricksvattnet. I praktiken behöver råvattenhalten vara lägre än modellens ingångsvärde, för att säkerställa att slutkoncentrationen i dricksvattnet understiger 4 ng/l och därmed uppfyller Livsmedelsverkets krav. Observera även att uppskattningarna i reduktion mot flöde har osäkerheter (se Bilaga *D. Osäkerhetsberäkningar*), detta diskuteras i kapitel 6.

Tabell 19 och figur 39 visar reduktionsgraden av PFAS4 i de olika bassängerna motsvarande det högsta värdet som fortfarande gav en god reduktion. För kompletterande värden se Bilaga *F (Optimeringsberäkningar*).

Tabell 19 *– presentation av högsta möjliga flöden som bidrog med en god reduktion av PFAS4.*

	Bassäng 1	***Bassäng 2***	***Bassäng 4***	***Bassäng 5***
Flöden [l/s]	250	280	400	400
Reduktion [%]	18%	10%	25%	20%

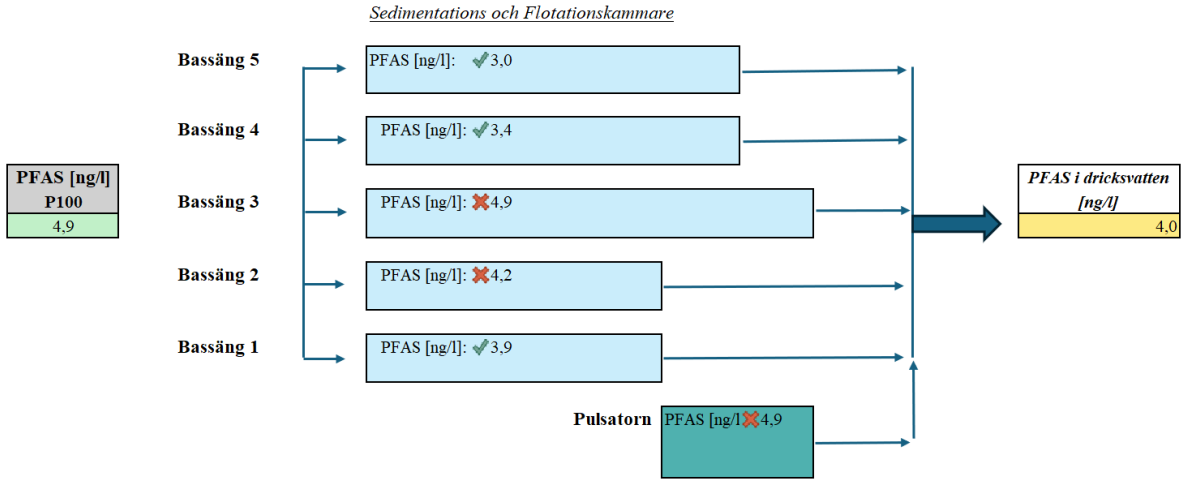


Figur 39 *– Norrvattens fem flotations och sedimentationskammare. PFAS P100 visar ingående koncentrationen av PFAS4 (i detta fall 4,6 ng/l), PFAS4-koncentrationen i dricksvattnet visas till höger i figuren och låg på gränsvärdet med 4 ng/l. Flödeshastigheterna i figuren gav en dygnsproduktion genom fällningssteget på 160 000 [m³/dygn].*

I optimeringsdelen var det även av intresse att undersöka PFAS4-reduktionen vid lägre flöden. I tabell 20 och figur 40 redovisas modellen med lägre flöden och högre reduktionsgrad.

Tabell 20 *– presentation av lägre flöden med motsvarande PFAS4-reduktion.*

	Bassäng 1	***Bassäng 2***	***Bassäng 4***	***Bassäng 5***
Flöde [l/s]	235	240	390	330
Reduktion [%]	20%	15%	30%	38%

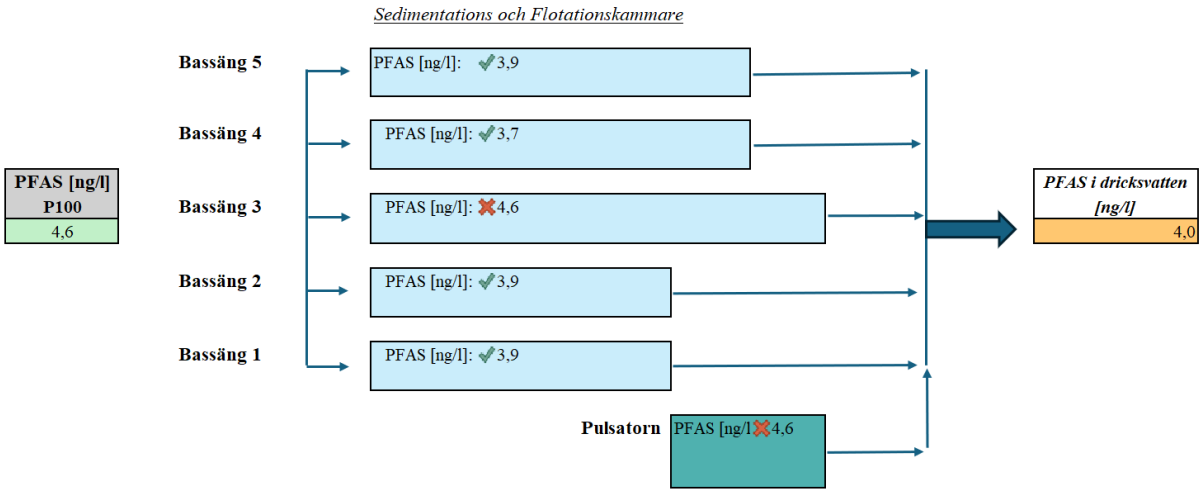


Figur 40 *– PFAS P100 visar ingående koncentrationen av PFAS4 (i detta fall 4,9 ng/l), PFAS4-koncentrationen i dricksvattnet visas till höger i figuren och som låg på gränsvärdet med 4 ng/l. Flödeshastigheterna i figuren gav en dygnsproduktion genom fällningssteget på 150 000 [m^3/dygn].*

Reduktionen vid en högre dygnsproduktion undersöktes även. I tabell 21 och figur 41 redovisas hur PFAS4-reduktionen skulle förändras om vattenflödet höjs i bassäng 4 och 5.

Tabell 21 *– Flöde med motsvarande PFAS4-reduktion vid högre flödeshastigheter, fokus på bassäng 4 och 5.*

	Bassäng 1	***Bassäng 2***	***Bassäng 4***	***Bassäng 5***
Flöde [l/s]	280	280	500	500
Reduktion [%]	15%	15%	20%	15%



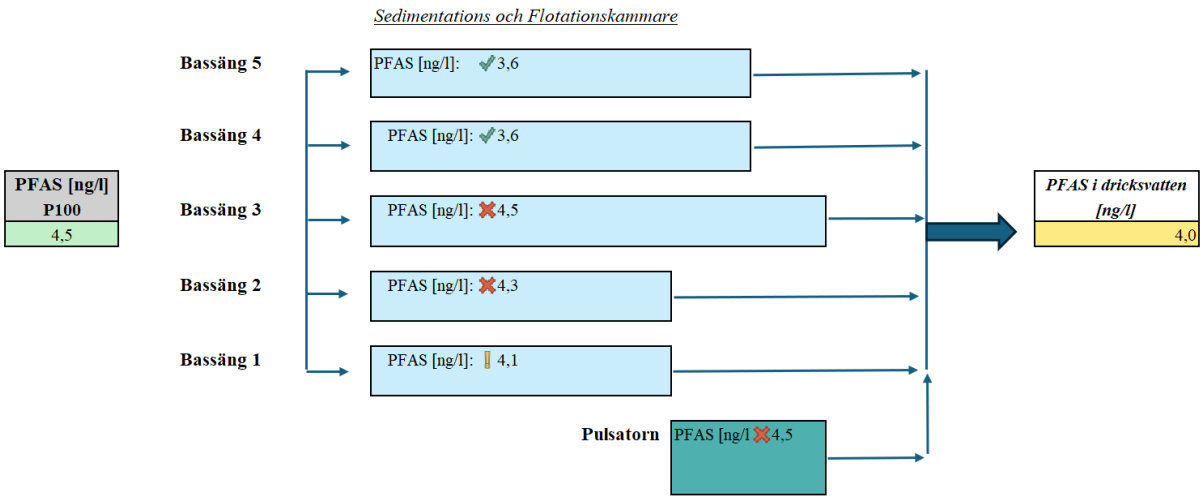
Figur 41 *– PFAS P100 visar ingående koncentrationen av PFAS4 (i detta fall 4,6 ng/l), PFAS4-koncentrationen i dricksvattnet visas till höger i figuren och som låg på gränsvärdet med 4 ng/l. Flödeshastigheterna i figuren gav en dygnsproduktion genom fällningssteget på 180 490 [m^3/dygn].*

Tabell 22 och figur 42 undersöker en flödesökning i bassäng 1 och 2 till max = 300 [l/s] (bassäng 1 och 2 kan gå i högre flöden men då kan man lika gärna stänga av flotationen ty

sämre rening sker) samtidigt som en nödvändig flödeshastighet i bassäng 4 och 5 ställs in för att komma upp i samma dricksvattenproduktion som i figurerna innan.

Tabell 22 *– Flöde med motsvarande PFAS4-reduktion vid högre flödeshastigheter, fokus på bassäng 1 och 2.*

	Bassäng 1	***Bassäng 2***	***Bassäng 4***	***Bassäng 5***
Flöde [l/s]	300	300	500	460
Reduktion [%]	10%	5%	20%	20%



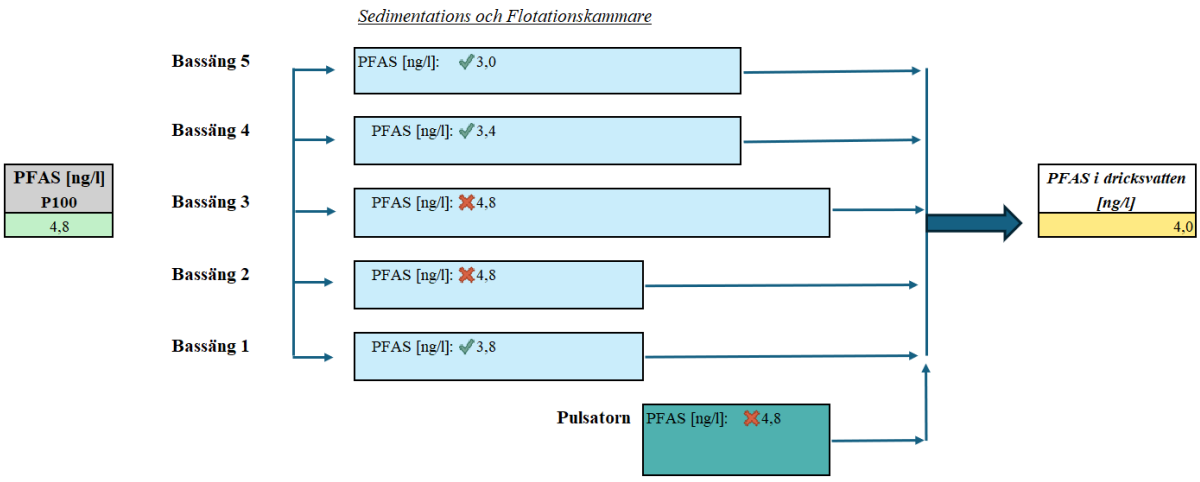
Figur 42 *– PFAS P100 visar ingående koncentrationen av PFAS4 (i detta fall 4,5 ng/l), PFAS4-koncentrationen i dricksvattnet visas till höger i figuren som låg på gränsvärdet med 4 ng/l. Flödeshastigheterna i figuren gav en dygnsproduktion genom fällningssteget på 180 490 [m³/dygn].*

För vidare undersökning av flödesfördelningar vid hög dygnsproduktion, se bilaga *F (Optimeringsberäkningar)*.

Tabell 23 och figur 43 visar hur en eventuell energibesparing skulle kunna anpassas i flotationsprocessen genom att stänga av flotationen i bassäng 2. Nedan hur det i det mest optimala scenariot skulle se ut om flotationen i bassäng 2. I tabell 24 och figur 44 stängs flotationen av i bassängerna 1 och 2.

Tabell 23 *– Optimala scenariot med där flotationen i bassäng 2 stängts av.*

	Bassäng 1	***Bassäng 2***	***Bassäng 4***	***Bassäng 5***
Flöde [l/s]	235	240	390	330
Reduktion [%]	20%	0%	30%	38%

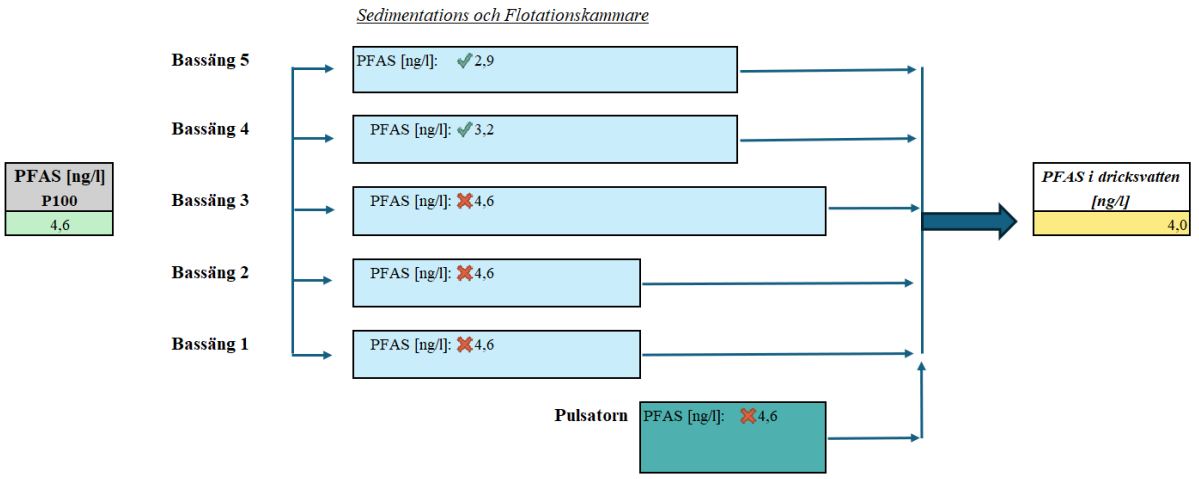


Figur ***43*** *– PFAS P100 visar ingående koncentrationen av PFAS4 (i detta fall 4,8 ng/l), PFAS4-koncentrationen i dricksvattnet visas till höger i figuren som låg på gränsvärdet med 4 ng/l. Flödeshastigheterna i figuren gav en dygnsproduktion genom fällningssteget på 150 000 [m³/dygn], bassäng 2 utan flotation.*

För vidare undersökning av högre dygnsproduktion med flotation avstängd i bassäng 2, se Bilaga *F (Optimeringsberäkningar)*.

Tabell 24 *– Optimala scenariot med där flotationen i bassäng 1 och 2 stängts av.*

	Bassäng 1	***Bassäng 2***	***Bassäng 4***	***Bassäng 5***
Flöde [l/s]	235	240	390	330
Reduktion [%]	0%	0%	30%	38%



Figur ***44*** *– PFAS P100 visar ingående koncentrationen av PFAS4 (4,6 ng/l), PFAS4-koncentrationen i dricksvattnet visas till höger i figuren (4,0 ng/l). Flödeshastigheterna i figuren gav en dygnsproduktion genom fällningssteget på 150 000 [m³/dygn], bassäng 1 och 2 utan flotation.*

6 DISKUSSION

6.1 Massbalans och optimering

I massbalansen användes de värden som motsvarade de högsta och lägsta uppmätta flödena i respektive bassäng under testperioden. Dessa dygnsproduktioner uppgick till cirka 155 000 m^3/dygn respektive 190 000 m^3/dygn. Dessa skiljer sig något från de referensvärden som angavs i metoden, där den lägsta och högsta dygnsproduktionen angavs till 140 000 m^3/dygn respektive 180 000 m^3/dygn. Orsaken till skillnaden är att flödet i verket i praktiken inte är konstant över dygnet, utan tenderar att variera (framförallt sjunker det mellan dag och nattetid). På grund av detta användes inte 140 000 m^3/dygn som lägsta flöde i optimeringsdelen, utan ett något högre värde valdes för att bättre spegla de faktiska driftsförhållandena. Det är även värt att notera att dygnsproduktionen i detta arbete avser produktionen från bassängerna och pulsatorn (fällningssteget). Den faktiska dricksvattenproduktionen är något lägre på grund av vattenförluster i de efterföljande reningsstegen.

För massbalansen i dricksvattnet visades en något lägre utgående halt av PFAS4 vid lägre flöden än vid högre flöden, dock var denna skillnad liten med 2,8 – 2,7 [ng PFAS4/l] = 0,1 [ng PFAS4/l]. Under båda dessa dagar var halten av PFAS4 i råvattnet redan under gränsvärdet, på cirka 3 [ng PFAS4/l]. Skulle koncentrationen av PFAS4 i råvattnet legat lite högre hade kanske en tydligare skillnad mellan lågt och högt flöde visats, i denna massbalans var dock så inte fallet. Viktigt att notera var att halten av PFNA (en av undergrupperna i PFAS4) låg under detektionsgränsen under hela försöksperioden. Därför utfördes massbalansen i praktiken på PFAS3, som hade mätbara halter och därmed utgjorde grunden för analysen.

För massbalansen i slammet, som beräknades under samma förhållanden som massbalansen i dricksvatten, visades en skillnad i PFAS4 på 0,059 till 0,045 [g PFAS4/dag]. Årsmässigt motsvarar detta en skillnad på 22 till 16 [g PFAS4/år]. Skillnaderna i dessa värden beror på att provtagningarna genomfördes vid olika flödesförhållanden, där de högre värdena observerades vid lägre flöden, medan de lägre värdena sammanföll med högre flöden.

I dagsläget omhändertas inte PFAS4 från slammet i flotationsprocessen. Ett omhändertagande av PFAS4 i slam är kanske något att överväga till framtiden, speciellt om halterna av PFAS4 skulle öka i råvattnet.

I optimeringsdelen studerades olika flödeshastigheter som motsvarade den bättre halvan i PFAS4-reduktionskurvorna i förhållande till flöde (figurerna 33–36). I det första optimeringsförsöket (figur 39) testades en så hög flödeshastighet som möjligt, under förutsättning att reduktionen fortfarande låg inom den bättre halvan av PFAS4-reduktionen enligt flödesgraferna. I nästa försök (figur 40) sänktes flödet ytterligare, samtidigt som minflödeskravet fortfarande uppfylldes. I figurerna 41 och 42 testades en högre belastning på bassängerna 4 och 5 respektive 1 och 2. Slutligen testades det i figurerna 43 och 44 att stänga av bassäng 2 respektive bassäng 1 och 2 vid låga flödeshastigheter.

Från resultaten av optimeringen uppnåddes det totalt bästa reduktionen av PFAS4 vid flödeshastigheterna: bassäng 1 = 235 [l/s], bassäng 2 = 240 [l/s], bassäng 4 = 390 [l/s] och

bassäng 5 = 330 [l/s]. Detta gav vid en inloppskoncentration på 4,9 [ng PFAS4/l] ett utgångsvärde på 4 [ng/l]. Dvs en reduktion på 18%. Observera att osäkerheter inte är medräknade (se 6.3 osäkerhetsanalys). Observera även att inloppskoncentrationen behöver ligga under 4,9 ng/l för att gränsvärdet PFAS4 ska hållas.

I optimeringen var det även av intresse att undersöka hur stora flöden som skulle kunna fördelas mellan de olika bassängerna. I figur 41 och 42 visas två olika alternativ på fördelningar vid höga flöden, där den högsta PFAS4 reduktionen inträffade då mer vatten leddes till de större bassängerna (bassäng 4 och 5). Dock skiljde bara reduktionen från att leda mer vatten till bassäng 1 och 2 enbart med 0,1 [ng PFAS/l].

Slutligen undersöktes i optimeringsdelen om det var möjligt att stänga av flotationsprocessen i en eller flera bassänger i syfte att spara energi. Detta analyseras i figur 43 och 44, där flotationen i bassäng 2, som uppvisade den lägsta PFAS4-reduktionen, först stängdes av följt av att även flotationen i bassäng 1 stängdes av. Dessa scenarier utvärderades vid låga flödeshastigheter, då PFAS-reduktionen generellt var hög i samtliga bassänger.

När flotationen i bassäng 2 stängdes av sänktes inloppskoncentrationen från 4,9 till 4,8 [ng PFAS4/l] samtidigt som utgående koncentration fortfarande hölls på 4 [ng PFAS4/l]. När både bassäng 1 och 2 stängdes av sänktes den tillåtna inloppskoncentrationen till 4,6 [ng PFAS4/l] för att fortsatt uppnå en utgående koncentration på 4 [ng PFAS4/l].

6.2 Besvarande av frågeställningar

I följande stycke diskuteras de tre frågeställningarna examensarbetet grundar sig på.

- *Hur kan PFAS4-reningen optimeras i dricksvattensreningsprocessen för att nå gränsvärdet till år 2026 (på 4 ng/L), samtidigt som kraven på turbiditet-, slamvolym och energiförbrukning uppfylls?*

För att säkerställa att PFAS4-halten i dricksvattnet understiger det kommande gränsvärdet på 4 ng/L till år 2026, samtidigt som kraven på turbiditet, slamvolym och energiförbrukning uppfylls, har flera optimeringsåtgärder analyserats. Resultaten från optimeringsförsöken visar på samband mellan processinställningar och reduktionseffektivitet. Under rubriken *Optimering* redovisas resultat kopplade till de mest effektiva flödeshastigheterna för PFAS4-reduktion (se tabell 19). Dessa flöden har valts ut baserat på att de konsekvent placerade sig på den "bättre halvan" i PFAS4-reduktionsdata enligt Figurerna 33–36. Det är dock centralt att även utvärdera hur dessa inställningar påverkar övriga processparametrar i vattenreningen.

Turbiditet:

Turbiditet är en viktig indikator för vattenkvalitet och bör enligt rekommendationer understiga 1 FNU i flotation och sedimentationsbassängerna. Under provtagningens del 1 låg värdena strax över denna gräns, medan de i del 2 och 3 höll sig under 1 FNU i samtliga flotationsbassänger (se figurerna 14–17, 21–23 samt 24–25; exakta värden återfinns i Bilaga A: *Resultat från provtagningar*). Detta tyder på att den optimerade driften i bassäng 4 och 5 inte kompromissar med kraven på turbiditet.

Det bör dock noteras att vissa turbiditetsvärden i bassäng 1 och 2 överskred 1 FNU vid högre flöden (se figurerna 14 och 15). Flöden som närmar sig, eller överskrider, 300 l/s i dessa bassänger kan därför behöva undvikas för att säkerställa god vattenkvalitet.

Slamvolym:

En viktig aspekt i optimeringen är att minimera mängden flotationsslam som tas ut, utan att försämra slammets kvalitet. Idealt är att avlägsna mindre mängd slam med högre torrsubstanshalt (TS), vilket sparar vatten och energi.

I Bassäng 1 var TS-halterna stabilt låga över försöksdagarna (se Figur 18). De mest gynnsamma dagarna var dag 3 och 4 (flödeshastigheter 236 respektive 234 l/s), då minst vatten togs ut.

I Bassäng 2 observerades större variation i TS-halt mellan dagarna (se Figur 19). De resultat som bidrog med högst TS-halt samtidigt som låga mängder flotationsslam togs ut var under dagarna 3, 4 och 6, med motsvarande flödeshastigheter 239, 233 och 238 l/s. Slamvals-inställningarna och andelen flotationsslam som togs ur bassängen under dagarna var:

- Dag 3: 4 min gång / 6 min paus, andelen flotationsslam på 0,57%
- Dag 4: 3 min gång / 7 min paus, andelen flotationsslam på 0,42%
- Dag 6: 3 min gång / 7 min paus, andelen flotationsslam på 0,43%

Skiktningen av slam visade tydlig förbättring (se Figur 20 och Figur 28). Det som verkar spela särskilt stor roll är i detta fall låga flödeshastigheter för att uppnå höga TS-halter med mindre vattenuttag. Detta verkar även rimligt då nivån i bassängen stiger med ökat flöde, villket gör att mer slam/vatten tas ut.

I Bassäng 4 låg det optimala resultat under dag 7 och 8 (flöden: 577 och 416 l/s) med slamvalsintervall på 6 min gång / 9 min paus (se Figur 26). I detta fall verkade flödeshastigheten inte spela lika stor roll. I Bassäng 5 sågs ingen tydlig skillnad mellan dag 7 och 8 kunde konstateras (se Figur 27).

Hypotesen att ett mindre slamuttag skulle ha en negativ inverkan på vattenkvaliteten och PFAS-reduktionen kunde inte bekräftas utifrån de resultat som erhölls. I bassäng 2 tyder resultaten på att det snarare var flödeshastigheten än intervallet av slamuttag som påverkade reningseffekten. I bassäng 4 och 5 genomfördes inga variationer i intervallen av slamuttag, vilket begränsar möjligheten att dra slutsatser om hypotesens giltighet där.

Energiförbrukning:

I optimeringsdelen undersöktes hur PFAS4-reduktionen skulle påverkas vid avstängning av bassäng 2, eventuellt avstängning av både bassäng 1 och 2. Detta utfördes i undersökning av huruvida Norrvatten skulle kunna spara energi, då flotation är ett energikrävande moment, utan att PFAS4-reduktionen försämras i väsentlig grad.

Resultaten visade att en avstängning av bassäng 2, som i resultaten bidrog med minst PFAS4-reduktion, inte påverkade den totala reduktionen nämnvärt. Även en avstängning av flotationen i både bassäng 1 och 2 visade sig vara möjlig, men medförde en tydligare försämring av reduktionen.

Med nuvarande PFAS4-halter i råvattnet skulle det i praktiken vara möjligt att stänga av all flotation i samtliga bassänger, då nivåerna legat under gränsvärdet (på 4 ng/l) under samtliga försök i detta arbete. Värt att notera är att minsta möjliga halt för att upptäcka PFNA ligger på 0,6 ng/l (se bilaga D. *Osäkerhetsberäkningar*, för enskilda PFAS4-gruppers osäkerheter), en nivå som inte överskreds i något av proverna under de praktiska försöken. Den högsta uppmätta halten av PFAS4 i råvattnet under provtagningarna var 3,4 ng/l. Detta innebär att PFAS4-halten fortsatt skulle ligga under gränsvärdet även om en mindre mängd PFNA adderades. Om det däremot tas hänsyn till mätosäkerheterna för övriga ämnen i PFAS4-gruppen kan det finnas skäl att ändå behålla flotation som säkerhetsåtgärd. En mer detaljerad diskussion om osäkerheter finns i avsnitt 6.3: Osäkerhetsanalys.

Under både 2023 och 2024 överskreds gränsvärdet endast vid enstaka tillfällen. Trenden visar alltså på minskande halter av PFAS4 i Mälarens vatten, vilket är positivt ur både energi- och vattenkvalitetsperspektiv. Så länge vattenverket är förberett på att snabbt återaktivera flotationsprocessen vid en eventuell framtida ökning av PFAS4-halter i Mälaren, skulle flotationen i dagsläget kunna stängas av. Det bör även noteras att flotation ursprungligen inte installerades med fokus på PFAS-reduktion, utan som ett kapacitetshöjande åtgärd. Denna rapport drar därför inga slutsatser kring vattenkvalitén utan flotation.

Sammanfattningsvis skulle en optimering för att klara kraven på PFAS4, turbiditet och slamvolym kunna ske med samtliga flödesfördelningarna enligt tabellerna i optimeringsavsnittet (tabell 19 till 24) bortsett från flödesinställningarna i tabell 22. Detta då i tabell 22 tillåter flöden i bassäng 1 och 2 på 300 l/s, något som bidrog med att kraven för turbiditet överskrids. Det bör även förtydligas att de flödeshastigheter som presenterats i optimeringen alltid motsvarar hastigheter som ger en PFAS4-reduktion på 4 ng/l. Flödeshastigheterna som redovisas måste därav alltid underskridas hos en eller alla bassänger. Vid en önskad lägre energiförbrukning går det även bra att stänga av bassäng 2 utan att en markant förändring i PFAS4 reduktionen sker.

- *Hur påverkar olika parametrar, som ytbelastning och dispersionsvattenflöde, PFAS4-reduktionen? Samt vad är sambandet mellan flöde, slamuttag, kvalité och PFAS4 reduktion?*

I figur 32 syns ytbelastning mot PFAS4-reduktion med data som samlats in under arbetet. Bassäng 4 påvisar där den bästa PFAS4-reduktionen, vid ytbelastning 2,35 m/h. Detta följt av bassäng 5, med dess högsta PFAS4-reduktion vid ytbelastningen 2,2 m/h, följt av bassäng 1 med dess högsta PFAS4-reduktion vid 1,95 m/h. Bassäng 2 hade lägst PFAS4-reduktion jämfört med övriga bassänger, med sin högsta reduktion vid ytbelastning 2 m/h. Generellt sett ser det ut som att lägre ytbelastningar ger en högre reduktionsgrad. Dvs, vid lägre flöden i bassängerna uppstår en bättre reduktion.

Sambandet mellan flöde och slamuttag visas i Bilaga *F (Optimeringsberäkningar)*. Bassäng 2 uppvisade ett starkt samband enligt ekvation (12), med R^2=0,99. Även bassäng 5 visade ett tydligt samband, enligt ekvation (14), med R^2=0,9. För bassäng 4 var sambandet däremot svagare; ekvation (13) gav ett R^2-värde på 0,2. För bassäng 2, 4 och 5 beräknades detta samband genom att sätta slamuttaget i Slam/min, vilket beräknats från totala mängden borttaget flotationslam genom tiden valsarna körde i minuter, mot flödeshastigheten. Bassäng 1, som saknar en roterande vals, analyserades med data från Norrvattens databas. Här användes slamuttag i liter per sekund (l/s) i förhållande till flödet i l/s, vilket gav upphov till

sambandet enligt ekvation (11) med R^2=0,95. I undersökning av förhållandet av olika tidsinställningar på slamvalsarna sågs ingen större påverkan på PFAS4-reduktionen. I bassäng 2 kan detta ses i en figur under Bilaga *C (PFAS4 beräkningar).* Dock kan det inte dras några större antaganden om valstidens påverkan på PFAS4 reduktionen i det fallet. För slamuttag i förhållande till flödeshastighet och PFAS4-reduktion blev detta svåranalyserat i bassäng 4 och 5. Detta då samma intervall av slamuttag hölls under provtagningsdagarna. Med detta kunde inga slutsatser kring hypotesen om att *färre slamuttag skulle påverka vattenkvalitén negativt* att dras.

Vad som dock kan noteras är att det verkar finnas ett visst samband mellan förbättringen i kvalitetsparametrar och PFAS4-reduktionen. Detta samband kan exempelvis observeras i del 2 av undersökningen, där bassäng 4 konsekvent uppvisade högre PFAS4-reduktion än bassäng 2 vid liknande belastningsförhållanden. Samtidigt visade bassäng 4 generellt bättre vattenkvalitet (med en bättre rening av suspenderat material) i utgående vatten (se figurerna 21–23).

Liknande tendenser syns i del 1 när bassäng 1 och 2 jämfördes. Här framgår att högre reduktion av allmänna kvalitetsparametrar sammanfaller med bättre PFAS4-reduktion (se figurerna 14–17 och tabellerna 8 och 9). Under de två första dagarna (dag 1 och 2) var reningsresultatet i bassäng 1 sämre än för bassäng 2, vilket även sammanföll med den lägsta PFAS4-reduktionen samt de högsta flödeshastigheterna. Under dessa dagar kommenterades det även att det blev en översvämning av slam vid slamuttaget i bassäng 1, något oönskat och som kan ha påverkat resultatet.

En kvalitetsparameter som här inte undersökts i en större utsträckning är mängden organiskt kol. Värdena DOC och TOC från provtagning i de olika delarna av flotationsbassängerna hittar i Bilaga *A (Resultat från provtagningar)*. Värdena av organiskt kol följde resultatet av suspenderat material. Ett intressant resultat kring organiskt kol var att ungefär hälften av det totala organiska kolet (TOC) avlägsnades, medan halten löst organiskt kol (DOC) var i princip oförändrad under alla provtagningar. TOC består av både partikulärt- och löst kol. DOC, som representerar det lösa organiska kolet, är i storlek mycket mindre än det partikulärt bundna kolet. Väl i sedimentation och flotationssteget så sjunker tyngre partiklar till botten och lättare partiklar flyter till ytan. Resultatet visar därav att de tyngre partiklarna, som bildat flockar, renas bort nästan helt. Detta medan de lättare partiklarna (DOC), som kanske borde försvunnit med flotation, blir kvar.

För att sammanfatta följande så var partikelreduktionen under de olika dagarna i bassängerna generellt ganska lika i halter vid in- och ut fasen, där bassäng 4 och 5 hade en högre reduktion i jämförelse med bassäng 1 och 2. Om en ökad belastning ska ske bör denna därav riktas mot bassäng 4 och 5 för att behålla god partikelreduktion.

- *Varför presterar vissa bassänger på Norrvattens anläggning bättre än andra när det gäller PFAS4-rening?*

Resultaten i rapporten har tydligt visat på att de olika bassängerna presterar olika bra i PFAS4 reduktion. Detta resultat har varit så tydligt, att det i optimeringsprocessen gått att anta att flotationen i bassäng 2 till och med skulle kunna stängas av utan att PFAS4-reduktionen skulle påverkas i de stora hela. Det noterades (i del 1) att vattenkvalitén och PFAS4-halterna i bassäng 1 och 2, som under samma dagar (med samma råvattenförhållanden), gav olika

reduktions-resultat. Det som fysiskt skiljer dessa bassänger åt var slamavskiljandet, men det kan även förekomma viss skillnad i bassängernas dysor då de är byggda av olika entreprenörer. I del 2 testades vattenkvalitén och PFAS4-halterna i bassäng 2 och 4, som under samma dagar (med samma råvattenförhållanden) har visat på olika resultat. Det som skiljer dessa bassänger år är dimensioneringen av bassängerna. Bassäng 4 och 5 presterade relativt lika.

Varför bassäng 1 presterade bättre än bassäng 2 kan diskuteras. Det kan vara så att slamhanterandet i bassäng 1 bidrar med den förbättrade PFAS4-reduktionen. Att avskiljandet av slam är bättre kan bidra med att den allmänna reningen också blir bättre, och med en bättre reduktion i kvalitetsparametrarna kanske även en bättre PFAS4-reduktion sammanfaller. Det skulle även kunna vara så att reningen i bassängen egentligen är lika stora, då det inte skiljde så mycket (egentligen) i PFAS-reduktion mellan bassängerna och då osäkerheterna i PFAS4 resultaten är så stora.

Något som dock gick att se, trots osäkerheterna, var att skillnaden av PFAS4-reduktion i bassäng 2 och 4 var väsentlig. Det var även en väsentlig skillnad för suspenderat material och tudbiditet vid dispersionsfaserna mellan dessa två bassänger, trots att bassängerna var inställda på samma ytbelastning. Det vill säga att det i teorin borde lika många partiklar nå botten och reduceras i dessa två bassänger. Något som skulle kunna antas i detta fall är att ytbelastningen i teorin skiljer sig från verkligheten, då längre bassänger presterar bättre.

Med en ökad partikelreduktion skulle en eventuell förklaring till den ökade PFAS4-reduktionen vara att det finns fler bubblor för PFAS-molekylerna att fästa vid. I kapitel 2 (2.5 Tidigare studier av DAF och PFAS) beskriver We (2024) hur en ökad tillgång på bubblor ökar effektiviteten i processen. We (2024) fortsätter att förklara hur det vid en ökad mängd bubblor i vattnet skapar fler interfaciala ytor som blir tillgängliga för PFAS att binda till. I relation till denna studie så innebär en effektivare sedimentering att färre partiklar når dispersionsvattnet. Detta minskar i sin tur mängden partiklar som annars skulle kunna konkurrera om ytan på luftbubblorna, vilket skulle kunna öka tillgängliga ytor för PFAS4-molekylerna att fästa vid och förbättra PFAS4-reduktionen.

6.3 Osäkerhetsanalys

Följande diskuteras osäkerheten i arbetets olika delar:

Osäkerhet kvalitéts parametrar:
Angående osäkerheten vid kvalitéts-parametrarna, det första som presenteras i resultatet, gavs osäkerheterna direkt från labb i enheten % (se Bilaga *D. Osäkerhetsberäkningar*). Dessa osäkerheter visas även i figurerna (14–17, 21, 23 och 24–25) under resultat kavitetsparametrar (del 1–3). Trots dessa osäkerheter påverkar de inte resultatet betydligt och resultaten förblir trovärdiga.

En osäkerhet vid mätningar av suspenderat material uppstod då det ibland uppmättes högre halter av suspenderat material i utgående vatten än i klarfasen. Detta kan verka konstigt i och med att vattnet i den utgående delen borde vara det vatten med minst mängd suspenderat material. Anledningen till detta fel kan troligtvis förklaras av att det som beskrivs som slamhindret (se figur 9) kan orsaka viss stagnation av flock i området för provtagning.

Osäkerhet TS och Flotationsslam:
För mätningarna av TS (torrsubstans) i flotationsslam saknas exakta uppgifter om mätfel eller varians. Det är dock rimligt att anta att även dessa mätningar är behäftade med osäkerheter, främst i form av möjliga maskinfel vid upphettning och uppmätning. Ett exempel på maskinfel kan vara om det finns kvarvarande fukt i provet efter torkningen, vilket skulle leda till en underskattning av TS-halten.

En ytterligare osäkerhetsfaktor är att vissa prover kan ha innehållit så låga halter av torrsubstans att dessa hamnar under mätinstrumentets noggrannhetsgräns, vilket innebär att felmarginalen blir oproportionerligt stor i relation till det faktiska värdet.

Osäkerhet PFAS4:

Osäkerheterna i PFAS4 kan vara de största osäkerheterna i detta arbete. Detta då det genomsnittliga PFAS4-mätfelet snittade på (+-) 0,66 ng/l. Detta motsvarar ett fel på cirka 21% (för beräkning av detta se Bilaga *D. Osäkerhetsberäkningar*). I tabell 8 och 9 noterades även vissa negativa differenser mellan PFAS4-halten i råvattnet och flotationssteget, vilket tyder på att halterna ibland uppmättes högre efter behandling än före. Detta är ytterligare en indikation på mätosäkerheten, eftersom halten av PFAS4 teoretiskt sett inte kan öka genom behandlingen.

På grund av denna höga felmarginal är det inte möjligt att med säkerhet fastställa att en faktisk reduktion av PFAS4 har skett i samtliga bassänger, särskilt i de fall där uppmätt reduktionsgrad ligger under 21 %. En statistiskt säkerställd reduktion har endast kunnat observeras i bassäng 4 och 5. Trots detta har en viss reduktion antagits även i övriga bassänger, i syfte att möjliggöra en övergripande analys av trender i PFAS4-reduktion vid varierande flöden.

Osäkerheter Massbalans och optimering:

De stora osäkerheterna i PFAS4-data påverkar även analysen av PFAS4-reduktionen vid olika flöden i massbalans och optimeringsdelen. Resultaten från modellerna bör därför tolkas med viss försiktighet, med hänsyn till den relativt höga osäkerheten i indata. I optimeringsdelen angavs det bästa resultatet till en PFAS4-reduktion på 18 %. Eftersom detta ligger under felmarginalen på 21 %, innebär det att reduktionen inte kan betraktas som statistiskt säkerställd. Detta understryker ytterligare behovet av att tolka resultaten med försiktighet och att bekräftande mätningar med lägre osäkerhet kan vara nödvändiga för att styrka modellens antaganden.

I tabellerna 23 och 24 presenteras förslag på flödesfördelning genom de olika bassängerna vid avstängd flotationen i bassäng 2, respektive i både bassäng 1 och 2. Det finns dock osäkerheter kopplade till dessa optimeringsscenarier. Om flotationen stängs av i syfte att spara energi kan det i praktiken bli nödvändigt att sänka flödena i dessa bassänger till lägre nivåer än de som redovisas i tabellerna. Detta beror på att vattenkvaliteten måste upprätthållas på en god nivå när sedimentationen ensam ska säkerställa reningen. Som en följd kan en större andel av flödet behöva ledas till bassäng 4 och 5, vilket skulle kunna minska reduktionen av PFAS4 eftersom belastningen på dessa bassänger ökar. Detta skulle i sin tur kunna bidra med att PFAS4-reduktionen att bli mindre än det som visas i figurerna 43 och 44.

En ytterligare källa till osäkerhet är de massbalansberäkningar som utförts för PFAS4 i slammet. I dessa beräkningar har det antagits att all PFAS4 som reducerats i processen har överförts till slamfasen. Detta antagande kan vara bristfälligt, då det inte tagits hänsyn till att en del av PFAS4 potentiellt kan ha evaporerat. I så fall skulle inte all reducerad PFAS4 återfinnas i slammet, vilket kan leda till en överskattning av slammets PFAS4-halt.

6.4 Utvecklingspotential

Det finns flera möjliga utvecklingsområden som inte hann utforskas inom ramen för detta arbete, men som skulle kunna ge ett bredare eller mer detaljerat underlag i framtida studier.

- Insamling av mer data från bassäng 1: Mer omfattande provtagning i bassäng 1 skulle kunna bidra till en bättre förståelse för hur reduktionen sker tidigt i flotationsprocessen.
- Undersökning av kvalitetsparametrar och DOC-reduktion utan flotation: För att minska energiförbrukningen föreslogs att stänga av flotationen i bassäng 2. I samband med att detta skulle ta sin verklighet vore det intressant att analysera suspenderat material, turbiditeten och reduktionen av löst organiskt kol (DOC) vid avstängd flotation. Detta för att utvärdera inverkan på reningseffekten vid avstängd flotation.

7 SLUTSATSER

En optimering av Norrvattens flotationsprocess genomfördes, och resultaten visar att processen är mer effektiv vid lägre flöden (se tabell 20). Flotation visade sig vara en tillförlitlig metod för PFAS4-reduktion när halten i råvattnet ligger nära gränsvärdet, det vill säga strax över 4 ng/l. Om PFAS4-nivåerna i råvattnet skulle stiga avsevärt, bör alternativa reningstekniker övervägas. Det är viktigt att notera att det saknas provdata för PFAS4-halter över 5 ng/l, vilket innebär att säkra slutsatser om reningseffekten vid dessa nivåer inte kan dras. Samtidigt indikerar data från tidigare år att reduktionseffekten tenderar att öka i takt med högre PFAS4-halter i råvattnet, vilket kan tyda på att flotationen delvis kompenserar vid ökade koncentrationer.

Ur ett energibesparingsperspektiv visade studien att flotationen i bassäng 2 kan stängas av utan att PFAS4-reduktionen påverkas nämnvärt. Med tanke på de låga PFAS4-halterna i råvattnet under denna testperiod (som låg på cirka 3 ng/l) skulle det i dagsläget även vara möjligt att stänga av flotationen i samtliga bassänger. Denna studie kan dock inte uttala sig om hur vattenkvaliteten i övrigt skulle påverkas av en sådan åtgärd.

När det gäller partikelreduktion var resultaten från provtagningsdagarna relativt lika mellan bassängerna vid in- och utlopp, med undantag för bassäng 4 och 5 som visade högre reduktion än bassäng 1 och 2. Om en ökad belastning ska övervägas, bör den därför främst riktas mot bassäng 4 och 5 för att upprätthålla god partikelreduktion.

Samma bassänger (4 och 5) presterade även bättre avseende PFAS4-reduktion. Eftersom PFAS4-reduktionen tycks öka med förbättrad partikelavskiljning, troligen till följd av minskad konkurrens om luftbubblor, förstärker detta vikten av en effektiv partikelrening för god PFAS4-reduktion.

8 REFERENSER

Baresel, C. Karlsson, L. Malovanyy, A. Thorsél, G. Felthmann, M. Holmquist, H & Pütz, K. *PFAS – hur kan svenska avloppsreningsverk möta utmaningen? Kunskapssammanställning och vägledning för VA-aktörer kring PFAS*. Nr 2022-7, Svenskt Vatten utveckling. https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/wp-content/uploads/2022/10/svu-rapport-2022-07.pdf [2025-01-28]

Bolto, B & Xie, Z (2019). *The Use of Polymers in the Flotation Treatment of Wastewater*. Processes, 7(6), 374. https://doi.org/10.3390/pr7060374 [2025-02-17]

Bäck, O (2021). *Analysis and optimization of a dissolved air flotation process for separation of suspended solids in wastewater.* Luleå University. https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1576322/FULLTEXT01.pdf [2025-02-17]

Chong, Y. D (u.å.). *1.3: Error Estimates for Sums, Products, and Powers*. LibreTexts physics. https://phys.libretexts.org/Learning_Objects/Demos_Techniques_and_Experiments/Physics_Laboratory_(Chong)/1%3A_Error_Analysis/1.3%3A_Error_Estimates_for_Sums_Products_and_Powers [2025-06-06]

Dahn, E (2024). *Driftoptimering av flotation för reduktion av PFAS och slamuttag på Görvälnverket.* Kungliga Tekniska högskolan. https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1923026/FULLTEXT01.pdf [2025-01-24]

Eurolab (2025). *Hängande fast artikelbestämning*. https://www.laboratuvar.com/sv/gida-analizleri/fiziksel-analizler/askida-kati-madde-tayini [2025-02-27]

Féris, L.A & Rubio, J (1999). *Dissolved air flotation (DAF) performance at low saturation pressures*. Volume 35, Filtration & Separation.

Förorenade Områden (2023). *PFAS – Egenskaper*. Svenska Geotekniska Föreningen. https://www.fororenadeomraden.se/index.php/aemnen/pfas/egenskaper [2025- 01-29].

Hiradie, M (2005). *FOAM FRACTIONATION AND FLOTATION.* Upplaga 2, Encyclopedia of Analytical Science.

Hugg, F; Process- och utvecklingsingenjör; Norrvatten. Personlig kommunikation. [2025- 01-20]

Kemikalieinspektionen (u.å). *PFAS*. https://www.kemi.se/hallbarhet/amnen-och-material/pfas [2025-01-27]

Köhler, S.J & Lavonen, E (2015). *Löst organiskt kol i dricksvatten*. Nr 2015-13, Svenskt Vatten Utveckling.

Livsmedelsverket (2025). *PFAS och andra miljögifter i dricksvatten och livsmedel – kontroll*. https://www.livsmedelsverket.se/foretagande-regler-kontroll/dricksvattenproduktion/kontroll-pfas-miljogifter-dricksvatten-egenfangad-fisk [2025-01-27]

Nilsson, G (2019). *Rapportskrivning för ingenjörer*. Blekinge tekniska högskolan. https://www.kau.se/files/2019-09/Skriva_tekniska_rapporter_2019_sep.pdf [2025-05-10]

Norrvatten (2024). *Ny pilotanläggning på Görvälnverket*. https://www.norrvatten.se/om-norrvatten/nyheter/nyhetsarkiv/ny-pilotanlaggning-pa-gorvalnverket/ [2025-05-13]

Norrvatten (2023). *Norrvattens framtida vattenproduktion*. https://www.norrvatten.se/ledningsnat-och-projekt/norrvattens-framtida-vattenproduktion/ [2025-01-23]

Norrvatten (u.å). *Reningsprocessen*. https://www.norrvatten.se/dricksvatten/dricksvattenproduktion/reningsprocessen/ [2025-01-23]

Raissouni, B. Benkara, L.M & Lapointe, M (2024). *Fiber-based super-bridging agents improve flotation and settling during water treatment*. Journal of Water Process Engineering, Volume 63, 105499. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714424007311

Smith, S (2023). Teknik som tar bort PFAS från förorenat vatten har utvärderats. Sveriges lantbruksuniversitet. https://www.slu.se/ew-nyheter/2023/10/teknik-som-tar-bort-pfas-fran-fororenat-vatten-har-utvarderats/

Stockholm vatten och avfall (u.å). *PFAS.* https://www.stockholmvattenochavfall.se/pfas [2025-01-28]

Svenskt Vatten (2024). *Dricksvattenteknik 2, Råvatten, beredningsbehov och beredningsmetoder*. Upplaga 16, Svenskt Vatten AB.

Svenskt Vatten (u.å). *PFAS.* https://www.svensktvatten.se/vara-sakomraden/klimat-och-hallbarhet/pfas/ [2025-01-27]

Van Dijk, H (2007). CT4471 Drinking water 1: Technology 14 Flotation. [Video]. https://ocw.tudelft.nl/course-lectures/flotation/ [2025-02-15]

Vikström, M (2023). *The Potential of Dissolved Air Flotation for PFAS Reduction in Norrvatten's Future Waterworks*. Kungliga Tekniska högskolan. https://www.divaportal.org/smash/get/diva2:1772281/FULLTEXT01.pdf [250122] [2025-01-24]

We, A.C.E. Zamyadi, A. Stickland, A.D. Clarke, B.O & Freguia, S (2024). *A review of foam fractionation for the removal of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) from aqueous matrices*. Volume 465, Journal of Hazardous Materials.

Woodard & Amp (2006). *Industrial Waste Treatment Handbook*. Upplaga 2, Curran Inc.

Yueh-Feng, L. Wei-Yi, C. Yu-Jung, L. Yu-Chi, L. Shang-Lien, L & Ching-Ya, H (2021). *Perfluorooctanoic acid (PFOA) removal by flotation with cationic surfactants.* Volume 266, Chemosphere.

9 BILAGOR

A. Resultat från provtagningar

Följande figur 45 och 46 visar resultat kring den allmänna reningen av kvalitetsparametrarna turbiditet, UV-absorbans, pH, temperatur, konduktivitet, alkalinitet, TOC, DOC och suspenderade material i del 1. Notera att de olika bassängerna kan kallas för ”fällning” i stället för bassäng i bilagorna. Detta då ordet ”fällning” används i stället för ordet ”bassäng” av Norrvatten.

Provdag 1: Fällning 2
Tid, punkt, volym slam
Datum: 6/3 - 2025
Flöde : 302 l/s (medelflöde mellan kl 08:14:30)
Slamgång: går 6 min paousar 10 min (medium långt slamtäcke)

Provtagning:	Tid	Vol (L)	Platts	Kommentar	Provsvar:	Turbiditet FNU	UV-Absorbans 254nm 5cm kyvett Abs 5 cm	pH-värde pH-enhet	pH-avläsningstemp. Temperatur °C	Konduktivitet 25°C mS/m	Alkalinitet mg HCO3/l	TOC mg/l	DOC mg/l	Suspenderade ämnen mg/l
Rråvatten	09:15	0,5	Rråvatten		Rråvatten	2,76	1,63	7,81	19,70	23,69	73,38	10,30	10,21	<2,0 (1,6)
PFAS (rå)	09:15		Rråvatten		Samp. Disp		0,50					8,15	5,08	14,60
PFAS (fäll)	14:00		Klar fas		Samp. Klar	1,53	0,48					5,70	4,82	4,00
Samlingsprov 1	09:10	4 x 0,5	Fällning 2	låt stå sän mixas	Samp. In	11,70	0,51					10,97	5,25	30,40
Samlingsprov 2	10:10	4 x 0,5	Fällning 2		Samp. Ut	1,59	0,483	6,79	14,5	25,39	44,06	5,53	4,95	3,0
Samlingsprov 3	11:10	4 x 0,5	Fällning 2											
Samlingsprov 4	13:00	4 x 0,5	Fällning 2		skillnad i procent (in-ut)/in:	0,8641103						0,50	0,05779	0,901315789
Samlingsprov 5	14:00	4 x 0,5	Fällning 2											

Provdag 1: Fällning 1
Tid, punkt, volym slam
Datum: 6/3 - 2025
Flöde : 300 l/s (medelvärde mellan kl 08:00-14:30)

Provtagning:	Tid	Vol (L)	Platts	Kommentar	Provsvar:	Turbiditet FNU	UV-Absorbans 254nm 5cm kyvett Abs 5 cm	pH-värde pH-enhet	pH-avläsningstemp. Temperatur °C	Konduktivitet 25°C mS/m	Alkalinitet mg HCO3/l	TOC mg/l	DOC mg/l	Suspenderade ämnen mg/l
Rråvatten	09:15	0,5	Rråvatten		Rråvatten	2,76	1,63	7,81	19,70	23,69	73,38	10,30	10,21	<2,0 (1,6)
PFAS (rå)	09:15		Rråvatten		Samp. Disp	3,39	0,50					6,52	5,12	8,80
PFAS (fäll)	14:00		Klar fas		Samp. Klar	1,42	0,48					5,41	5,10	3,00
Samlingsprov 1	09:10	4 x 0,5	Fällning 2	låt stå sän mixas	Samp. In	12,4	0,52					10,71	5,13	30,40
Samlingsprov 2	10:10	4 x 0,5	Fällning 2		Samp. Ut	1,32	0,48	6,78	13,00	25,31	44,00	5,51	5,12	5,60
Samlingsprov 3	11:10	4 x 0,5	Fällning 2											
Samlingsprov 4	13:00	4 x 0,5	Fällning 2		skillnad i procent (in-ut)/in:	0,893548						0,485215	0,001002	0,815789474
Samlingsprov 5	14:00	4 x 0,5	Fällning 2											

Slam			
	10:10	1 l	Slam

två linkar, fyll upp

Provdag 2: Fällning 2
Tid, punkt, volym slam
Datum: 11/3 - 2025
Flöde : 305 l/s
Slamgång: Går 4 min pausar 6 min (långt slamtäcke)

Provtagning:	Tid	Vol (L)	Platts	Kommentar	Provsvar:	Turbiditet FNU	UV-Absorbans 254nm 5cm kyvett Abs 5 cm	pH-värde pH-enhet	pH-avläsningstemp. Temperatur °C	Konduktivitet 25°C mS/m	Alkalinitet mg HCO3/l	TOC mg/l	DOC mg/l	Suspenderade ämnen mg/l
Rråvatten	09:00	0,5	Rråvatten		Rråvatten	2,78	1,6773	7,81	17,8	24,2	76,42	11,2054	10,783	<2,0 (1,2)
PFAS (rå)	09:00		Rråvatten		Samp. Disp	5,7	0,489					7,19962	5,01482	14
PFAS (fäll)	13:50		Klar fas		Samp. Klar	1,38	0,4877					5,59083	4,96903	4,4
Samlingsprov 1	08:50	4 x 0,5	Fällning 2	låt stå sän mixas	Samp. In	12,3	0,4999					10,5757	5,06859	28,8
Samlingsprov 2	09:50	4 x 0,5	Fällning 2		Samp. Ut	1,35	0,4824	6,83	13,1	25,58	44,5	5,88641	5,14657	3,4
Samlingsprov 3	10:50	4 x 0,5	Fällning 2											
Samlingsprov 4	12:50	4 x 0,5	Fällning 2		skillnad i procent (in-ut)/in	0,890244						0,44	-0,01538	0,881944444
Samlingsprov 5	13:50	4 x 0,5	Fällning 2											

Provdag 2: Fällning 1
Tid, punkt, volym slam
Datum: 11/3 - 2025
Flöde : 313 l/s

	Tid	Vol (L)	Platts	Kommentar	Provsvar:	Turbiditet FNU	UV-Absorbans 254nm 5cm kyvett Abs 5 cm	pH-värde pH-enhet	pH-avläsningstemp. Temperatur °C	Konduktivitet 25°C mS/m	Alkalinitet mg HCO3/l	TOC mg/l	DOC mg/l	Suspenderade ämnen mg/l
Rråvatten	09:00	0,5	Rråvatten		Rråvatten	2,78	1,6773	7,81	17,8	24,2	76,42	11,20535	10,783	<2,0 (1,2)
PFAS (rå)	09:00		Rråvatten		Samp. Disp	4,38	0,4958					6,842154	4,975532	12
PFAS (fäll)	13:50		Klar fas		Samp. Klar	1,38	0,4824					5,346208	4,883896	3,6
Samlingsprov 1	08:50	4 x 0,5	Fällning 2	låt stå sän mixas	Samp. In	12,5	0,4917					10,45357	5,115232	30,4
Samlingsprov 2	09:50	4 x 0,5	Fällning 2		Samp. Ut	1,2	0,4904	6,79	11,5	25,52	44,31	5,219443	4,926549	4
Samlingsprov 3	10:50	4 x 0,5	Fällning 2											
Samlingsprov 4	12:50	4 x 0,5	Fällning 2		skillnad i procent (in-ut)/in:	0,904					skillnad i procent (in-ut)/in:	0,501276	0,036886	0,868421053
Samlingsprov 5	13:50	4 x 0,5	Fällning 2											

Figur 45 – Provtagningssvar för dagarna 1 och 2

Provdag 4: Fällning 2

Tid, punkt, volym slam

Datum: 20/3 - 2025

Flöde : 233 l/s

Slamgång: 3 min gång 7 min pous

Provtagning:	Tid	Vol (L)	Platts	Kommentar	Provsvar:	Turbiditet FNU	UV-Absorbans 254nm 5cm kyvett Abs 5 cm	pH-värde pH-enhet	pH-avläsningstemp. Temperatur °C	Konduktivitet 25°C mS/m	Alkalinitet mg HCO3/l	TOC mg/l	DOC mg/l	Suspenderade ämnen mg/l
Råvatten	08:10	0,5	Råvatten		Råvatten	2,73	1,6057	7,85	18,9	23,82	73,97	10,63152	10,52761	<2 (1,4)
PFAS (rå)	08:10		Råvatten		Samp. Disp	4,1	0,4987					6,799501	5,133962	11,4
PFAS (fäll)	13:30		Klar fas		Samp. Klar	1,06	0,4917					5,630378	5,086819	3,4
Samlingsprov 1	08:30	4 x 0,5	Fällning 2	låt stå sän mixas	Samp. In	10,6	0,5146					9,959746	5,106011	29,2
Samlingsprov 2	09:30	4 x 0,5	Fällning 2		Samp. Ut	1,16	0,4917	6,8	13,9	25,35	43,57	5,479605	4,935359	4,2
Samlingsprov 3	11:30	4 x 0,5	Fällning 2											
Samlingsprov 4	12:30	4 x 0,5	Fällning 2			89,0566				skillnad i procent (in-ut)/in		44,98	3,342185	85,61643836
Samlingsprov 5	13:30	4 x 0,5	Fällning 2											

Provdag 4: Fällning 1

Tid, punkt, volym slam

Datum: 20/3 - 2025

Flöde : 234 l/s

Provtagning:	Tid	Vol (L)	Platts	Kommentar	Provsvar:	Turbiditet FNU	UV-Absorbans 254nm 5cm kyvett Abs 5 cm	pH-värde pH-enhet	pH-avläsningstemp. Temperatur °C	Konduktivitet 25°C mS/m	Alkalinitet mg HCO3/l	TOC mg/l	DOC mg/l	Suspenderade ämnen mg/l
Råvatten	08:10	0,5	Råvatten		Råvatten	2,73	1,6057	7,85	18,9	23,82	73,97	10,63152	10,52761	<2 (1,4)
PFAS (rå)	08:10		Råvatten		Samp. Disp	2,43	0,4945					6,043556	5,153249	6,2
PFAS (fäll)	13:30		Klar fas		Samp. Klar	0,96	0,4973					5,493329	5,090682	2,4
Samlingsprov 1	08:30	4 x 0,5	Fällning 2	låt stå sän mixas	Samp. In	11,2	0,5131					10,15124	5,255904	29
Samlingsprov 2	09:30	4 x 0,5	Fällning 2		Samp. Ut	1	0,4931	6,81	12,3	25,28	43,44	5,434869	5,203271	2,8
Samlingsprov 3	11:30	4 x 0,5	Fällning 2											
Samlingsprov 4	12:30	4 x 0,5	Fällning 2			91,07143				skillnad i procent (in-ut)/in		46,46101	1,001415	90,34482759
Samlingsprov 5	13:30	4 x 0,5	Fällning 2											
Slam		1 l	Slam	två hinkar, fyll upp										

Provdag 3: Fällning 2

Tid, punkt, volym slam

Datum: 12/3 - 2025

Flöde : 240 l/s

Slamgång: Går 4 min pausar 6 min (ty lägre flödeshastighet = kort slamtäcke)

Provtagning:	Tid	Vol (L)	Platts	Kommentar	Provsvar:	Turbiditet FNU	UV-Absorbans 254nm 5cm kyvett Abs 5 cm	pH-värde pH-enhet	pH-avläsningstemp. Temperatur °C	Konduktivitet 25°C mS/m	Alkalinitet mg HCO3/l	TOC mg/l	DOC mg/l	Suspenderade ämnen mg/l
Råvatten	08:50	0,5	Råvatten		Råvatten	2,37	1,6623	7,82	18,1	24,38	77,25	10,7768	11,0303	< 2,0 (0,6)
PFAS (rå)	08:50		Råvatten		Samp. Disp	4,34	0,4955					7,44733	5,39645	10,2
PFAS (fäll)			Klar fas		Samp. Klar	1,13	0,4902					5,43017	5,27827	2,2
Samlingsprov 1	08:40	4 x 0,5	Fällning 2	låt stå sän mixas	Samp. In	12,1	0,5176					11,2425	5,31272	30
Samlingsprov 2	09:50	4 x 0,5	Fällning 2		Samp. Ut	1,16	0,4942	6,82	12,5	26,06	45,2	5,71371	5,32576	3,4
Samlingsprov 3	11:20	4 x 0,5	Fällning 2											
Samlingsprov 4	12:40	4 x 0,5	Fällning 2	skillnad i procent (in-ut)/in		90,41322				skillnad i procent (in-ut)/in		49,18	0	88,66666667
Samlingsprov 5	13:40	4 x 0,5	Fällning 2											
Slam		1 l	Slam	två hinkar, fyll upp										

Provdag 3: Fällning 1

Tid, punkt, volym slam

Datum: 12/3 - 2025

Flöde : 240 l/s

Slamgång: Går 4 min pausar 6 min (ty lägre flödeshastighet = kort slamtäcke)

	Tid	Vol (L)	Platts	Kommentar	Provsvar:	Turbiditet FNU	UV-Absorbans 254nm 5cm kyvett Abs 5 cm	pH-värde pH-enhet	pH-avläsningstemp. Temperatur °C	Konduktivitet 25°C mS/m	Alkalinitet mg HCO3/l	TOC mg/l	DOC mg/l	Suspenderade ämnen mg/l
Råvatten	08:50	0,5	Råvatten		Råvatten	2,37	1,6623	7,82	18,1	24,38	77,25	10,77677	11,03028	< 2,0 (0,6)
PFAS (rå)	08:50		Råvatten		Samp. Disp	2,63	0,4902					6,382142	5,276669	7
PFAS (fäll)			Klar fas		Samp. Klar	1,16	0,4862					5,651035	5,205469	2,4
Samlingsprov 1	08:40	4 x 0,5	Fällning 2	låt stå sän mixas	Samp. In	11,7	0,5064					10,99888	5,447976	30,4
Samlingsprov 2		4 x 0,5	Fällning 2		Samp. Ut	1,02	0,4915	6,8	10,7	25,93	45,43	5,766962	5,254101	2,6
Samlingsprov 3		4 x 0,5	Fällning 2											
Samlingsprov 4		4 x 0,5	Fällning 2			91,28205				skillnad i procent (in-ut)/in		47,56775	3,558676	91,44736842
Samlingsprov 5		4 x 0,5	Fällning 2											
Slam		1 l	Slam	två hinkar, fyll upp										

Figur 46 – Provtagningssvar för dagarna 3 och 4

Följande figur 47 visar resultat kring den allmänna reningen av kvalitetsparametrarna turbiditet, UV-absorbans, pH, temperatur, konduktivitet, alkalinitet, TOC, DOC och suspenderade material i del 2.

Provdag 5: Fällning 4

Tid, punkt, volym slam

Datum: 1/4 2025

Flöde: 423 l/s

Slamgång: 4 min gång 6 min pauos

Provtagning:	Tid	Vol (L)	Platts	Kommentar	Provsvar:	Turbiditet FNU	UV-Absorbans 254nm 5cm kyvett Abs 5 cm	pH-värde pH-enhet	pH-avläsningstemp. Temperatur °C	Konduktivitet 25°C mS/m	Alkalinitet mg HCO3/l	TOC mg/l	DOC mg/l	Suspenderade ämnen mg/l
Råvatten	08:00	0,5	Råvatten		Råvatten	2,62	1,62	7,85	17,40	23,83	75,34	10,64	10,63	<2,0 (0,8)
PFAS (rå)	08:00		Råvatten		Samp. Disp	1,81	0,49					6,04	5,37	4,80
PFAS (fäll)	14:00		Klar fas		Samp. Klar	0,74	0,49					5,70	5,21	2,40
Samlingsprov 1	09:00	4 x 0,5	Fällning 2	låt stå sän mixas	Samp. In	9,54	0,51					11,00	5,46	29,60
Samlingsprov 2	10:00	4 x 0,5	Fällning 2		Samp. Ut	0,73	0,491	6,83	14,4	25,49	45,55	5,78	5,32	1,4
Samlingsprov 3	11:00	4 x 0,5	Fällning 2											
Samlingsprov 4	12:30	4 x 0,5	Fällning 2		skillnad i procent (in-ut)/in:	92,3480084				skillnad i procent (in-ut)/in:		47,39	2,673134	95,27027027
Samlingsprov 5	13:30	4 x 0,5	Fällning 2											OBS! Denna är hö
Slam		1 l	Slam	två hinkar, fyll upp										

Provdag 5: Fällning 2

Tid, punkt, volym slam

Datum: 1/4 2025

Flöde: 253 l/s

Slamgång: 3 min gång 7 min paus

Provtagning:	Tid	Vol (L)	Platts	Kommentar	Provsvar:	Turbiditet FNU	UV-Absorbans 254nm 5cm kyvett Abs 5 cm	pH-värde pH-enhet	pH-avläsningstemp. Temperatur °C	Konduktivitet 25°C mS/m	Alkalinitet mg HCO3/l	TOC mg/l	DOC mg/l	Suspenderade ämnen mg/l
Råvatten	08:00	0,5	Råvatten		Råvatten	2,62	1,62	7,85	17,40	23,83	75,34	10,64	10,63	<2,0 (0,8)
PFAS (rå)	08:00		Råvatten		Samp. Disp	6,00	0,49					7,43	5,24	14,40
PFAS (fäll)	14:00		Klar fas		Samp. Klar	1,20	0,47					5,65	5,22	4,20
Samlingsprov 1	09:00	4 x 0,5	Fällning 2	låt stå sän mixas	Samp. In	10,50	0,52					10,90	5,35	31,00
Samlingsprov 2	10:00	4 x 0,5	Fällning 2		Samp. Ut	1,29	0,473	6,81	13,2	25,41	45,95	5,62	5,10	4,4
Samlingsprov 3	11:00	4 x 0,5	Fällning 2											
Samlingsprov 4	12:30	4 x 0,5	Fällning 2		skillnad i procent (in-ut)/in:	87,71429				skillnad i procent (in-ut)/in:		48,45	4,734519	85,80645161
Samlingsprov 5	13:30	4 x 0,5	Fällning 2											
Slam		1 l	Slam	två hinkar, fyll upp										

Provdag 6: Fällning 4 19,2 40,8

Tid, punkt, volym slam under 5 h

Datum: 2/4 2025 max 263616

Flöde: 427 l/s min 263520

Slamgång: 6 minuter gång och 9 minuter paus

Provtagning:	Tid	Vol (L)	Platts	Kommentar	Provsvar:	Turbiditet FNU	UV-Absorbans 254nm 5cm kyvett Abs 5 cm	pH-värde pH-enhet	pH-avläsningstemp. Temperatur °C	Konduktivitet 25°C mS/m	Alkalinitet mg HCO3/l	TOC mg/l	DOC mg/l	Suspenderade ämnen mg/l
Råvatten	08:00	0,5	Råvatten		Råvatten	2,28	1,6128	7,84	18,6	23,81	75	10,3949376	10,22989	<2,0 (0,8)
PFAS (rå)	08:00		Råvatten		Samp. Disp	2,95	0,5091					6,71511346	5,317847	8
PFAS (fäll)	13:30		Klar fas		Samp. Klar	0,75	0,508					5,56	4,97	<2,0 (1,6)
Samlingsprov 1	08:40	4 x 0,5	Fällning 2	låt stå sän mixas	Samp. In	11,2	0,5212					10,5127351	5,558618	26,8
Samlingsprov 2	09:40	4 x 0,5	Fällning 2		Samp. Ut	0,92	0,512	6,87	16,1	25,67	46,37	5,52	5,17	0
Samlingsprov 3	10:40	4 x 0,5	Fällning 2											
Samlingsprov 4	11:40	4 x 0,5	Fällning 2			91,7857143				skillnad i procent (in-ut)/in		47,50	6,907086	100
Samlingsprov 5	13:30	4 x 0,5	Fällning 2											

Provdag 6: Fällning 2

Tid, punkt, volym slam

Datum: 2/4 2025

Flöde: 238 l/s

Slamgång:

Provtagning:	Tid	Vol (L)	Platts	Kommentar	Provsvar:	Turbiditet FNU	UV-Absorbans 254nm 5cm kyvett Abs 5 cm	pH-värde pH-enhet	pH-avläsningstemp. Temperatur °C	Konduktivitet 25°C mS/m	Alkalinitet mg HCO3/l	TOC mg/l	DOC mg/l	Suspenderade ämnen mg/l
Råvatten	08:00	0,5	Råvatten		Råvatten	2,28	1,6128	7,84	18,6	23,81	75	10,39494	10,22989	<2,0 (0,8)
PFAS (rå)	08:00		Råvatten		Samp. Disp	5,53	0,5003					7,596005	5,323744	17,2
PFAS (fäll)	13:30		Klar fas		Samp. Klar	1,32	0,4888					5,977496	5,110614	5
Samlingsprov 1	08:40	4 x 0,5	Fällning 2	låt stå sän mixas	Samp. In	10,6	0,5121					11,16421	5,402089	27,8
Samlingsprov 2	09:40	4 x 0,5	Fällning 2		Samp. Ut	1,38	0,4945	6,83	15	25,5	45,21	6,1605	5,416649	4,8
Samlingsprov 3	10:40	4 x 0,5	Fällning 2											
Samlingsprov 4	11:40	4 x 0,5	Fällning 2			86,98113				skillnad i procent (in-ut)/in		44,82	-0,26952	82,73381295
Samlingsprov 5	13:30	4 x 0,5	Fällning 2											

Figur 47 – Provtagningssvar för dagarna 5 och 6

Följande figur 48 visar resultat kring den allmänna reningen av kvalitetsparametrarna turbiditet, UV-absorbans, pH, temperatur, konduktivitet, alkalinitet, TOC, DOC och suspenderade material i del 3.

Provdag 8: Fällning 5

Tid, punkt, volym slam

Datum: 9/4

Flöde : 397 l/s

Slamgång: gång 7 min, paus 8.

Provtagning:	Tid	Vol (L)	Platts	Kommentar	Provsvar:	Turbiditet FNU	UV-Absorbans 254nm 5cm kyvett Abs 5 cm	pH-värde pH-enhet	pH-avläsningstemp. Temperatur °C	Konduktivitet 25°C mS/m	Alkalinitet mg HCO3/l	TOC mg/l	DOC mg/l	Suspenderade ämnen mg/l
Råvatten	07:30	0,5	Råvatten		**Råvatten**	2,31	1,566	7,87	19,6	23,62	73,73	10,82	10,62	<2,0 (0,6)
PFAS (rå)	07:30		Råvatten		**Samp. Disp**	3,14	0,500					6,21	5,19	7,6
PFAS (fäll)	12:30		Klar fas		**Samp. Klar**	0,66	0,498					5,32	5,01	<2,0 (1,0)
Samlingsprov 1	07:40	4 x 0,5	Fällning 2	låt stå sän mixas	**Samp. In**	9,23	0,512					11,16	5,25	28,6
Samlingsprov 2	08:40	4 x 0,5	Fällning 2		**Samp. Ut**	0,63	0,495	6,83	13,8	25,11	44,12	5,28	5,17	1,2
Samlingsprov 3	09:40	4 x 0,5	Fällning 2											
Samlingsprov 4	10:40	4 x 0,5	Fällning 2	**skillnad i procent (in-ut)/in**		93,17443				**skillnad i procent (in-ut)/in**		52,70	1,583024	95,8041958
Samlingsprov 5	12:30	4 x 0,5	Fällning 2											

Provdag 8: Fällning 4

Tid, punkt, volym slam

Datum: 9/4 - 2025

Flöde : 416 l/s

Slamgång: Gång 6 min, paus 9

Provtagning:	Tid	Vol (L)	Platts	Kommentar	Provsvar:	Turbiditet FNU	UV-Absorbans 254nm 5cm kyvett Abs 5 cm	pH-värde pH-enhet	pH-avläsningstemp. Temperatur °C	Konduktivitet 25°C mS/m	Alkalinitet mg HCO3/l	TOC mg/l	DOC mg/l	Suspenderade ämnen mg/l
Råvatten	07:30	0,5	Råvatten		**Råvatten**	2,31	1,566	7,87	19,6	23,62	73,73	10,82	10,62	<2,0 (0,6)
PFAS (rå)	07:30		Råvatten		**Samp. Disp**	1,88	0,497					6,02	5,16	4,0
PFAS (fäll)	12:30		Klar fas		**Samp. Klar**	0,67	0,498					5,54	5,00	<2,0 (1,4)
Samlingsprov 1	07:40	4 x 0,5	Fällning 2	låt stå sän mixas	**Samp. In**	9,63	0,520					10,47	5,28	28,4
Samlingsprov 2	08:40	4 x 0,5	Fällning 2		**Samp. Ut**	0,83	0,497	6,81	12,5	25,04	44,09	5,30	5,17	1,4
Samlingsprov 3	09:40	4 x 0,5	Fällning 2											
Samlingsprov 4	10:40	4 x 0,5	Fällning 2	**skillnad i procent (in-ut)/in:**		91,3811007				**skillnad i procent (in-ut)/in:**		49,36	2,177982	95,07042254
Samlingsprov 5	12:30	4 x 0,5	Fällning 2											

Provdag 7: Fällning 5

Tid, punkt, volym slam

Datum: 8/4 2025

Flöde : 488 l/s

Slamgång gång 7 min, paus 8.

Provtagning:	Tid	Vol (L)	Platts	Kommentar	Provsvar:	Turbiditet FNU	UV-Absorbans 254nm 5cm kyvett Abs 5 cm	pH-värde pH-enhet	pH-avläsningstemp. Temperatur °C	Konduktivitet 25°C mS/m	Alkalinitet mg HCO3/l	TOC mg/l	DOC mg/l	Suspenderade ämnen mg/l
Råvatten	08:00	0,5	Råvatten		**Råvatten**	2,29	1,607	7,86	15,3	23,66	74,56	10,55	10,74	<2,0 (1,6)
PFAS (rå)	08:00		Råvatten		**Samp. Disp**	4,85	0,511					7,02	5,24	11,2
PFAS (fäll)	13:30		Klar fas		**Samp. Klar**	0,74	0,496					5,37	5,23	<2,0 (0,8)
Samlingsprov 1	08:40	4 x 0,5	Fällning 2	låt stå sän mixas	**Samp. In**	9,79	0,521					9,92	5,34	26,6
Samlingsprov 2	09:40	4 x 0,5	Fällning 2		**Samp. Ut**	0,91	0,503	6,81	15,6	25,69	44,99	5,43	5,20	1,2
Samlingsprov 3	10:40	4 x 0,5	Fällning 2											
Samlingsprov 4	11:40	4 x 0,5	Fällning 2	**skillnad i procent (in-ut)/in**		0,90705				**skillnad i procent (in-ut)/in**		0,45	0,02659	0,954887218
Samlingsprov 5	13:30	4 x 0,5	Fällning 2											

Provdag 7: Fällning 4

Tid, punkt, volym slam

Datum: 8/4 2025

Flöde : 577 l/s

Slamgång: Gång 6 min, paus 9

Provtagning:	Tid	Vol (L)	Platts	Kommentar	Provsvar:	Turbiditet FNU	UV-Absorbans 254nm 5cm kyvett Abs 5 cm	pH-värde pH-enhet	pH-avläsningstemp. Temperatur °C	Konduktivitet 25°C mS/m	Alkalinitet mg HCO3/l	TOC mg/l	DOC mg/l	Suspenderade ämnen mg/l
Råvatten	08:00	0,5	Råvatten		**Råvatten**	2,29	1,607	7,86	15,3	23,66	74,56	10,55	10,74	<2,0 (1,6)
PFAS (rå)	08:00		Råvatten		**Samp. Disp**	3,8	0,512					6,62	5,23	9,2
PFAS (fäll)	13:30		Klar fas		**Samp. Klar**	0,8	0,499					5,39	5,18	2,6
Samlingsprov 1	08:40	4 x 0,5	Fällning 2	låt stå sän mixas	**Samp. In**	10,8	0,523					10,76	5,35	28,4
Samlingsprov 2	09:40	4 x 0,5	Fällning 2		**Samp. Ut**	1,06	0,499	6,81	14,2	25,66	45,17	5,47	5,26	2,0
Samlingsprov 3	10:40	4 x 0,5	Fällning 2											
Samlingsprov 4	11:40	4 x 0,5	Fällning 2	**skillnad i procent (in-ut)/in**		90,1851852				**skillnad i procent (in-ut)/in**		49,20	1,641121	92,95774648
Samlingsprov 5	13:30	4 x 0,5	Fällning 2											

Figur 48 – Provtagningssvar för dagarna 7 och 8

B. Beräkning och exakta siffror – kvalitetsparametrar

Tabell 25 och 26 visar hur stor förbättringen från råvatten till utgående vatten är, högre % = högre rening.

Exempel på beräkning: Dag 1, Bassäng 1 (TOC).

$TOC_{in} = 10{,}71$

$TOC_{ut} = 5{,}51$

$$\frac{TOC_{in} - TOC_{ut}}{TOC_{in}} * 100 \tag{17}$$

$$\frac{10{,}71 - 5{,}51}{10{,}71} * 100 = 49\%$$

Tabell 25 *– Förbättring i procent av TOC, DOC, SS och Turbiditet i Bassäng 1*

	Bassäng 1 *TOC (%)*	***Bassäng 1*** *DOC (%)*	***Bassäng 1*** *SS (%)*	***Bassäng 1*** *Turbiditet (%)*
Dag 1	49	0	82	89
Dag 2	50	4	87	90
Dag 3	48	4	91	91
Dag 4	46	1	90	91

Tabell 26 *– Förbättring i procent av TOC, DOC, SS och Turbiditet i Bassäng 2.*

	Bassäng 2 *TOC (%)*	***Bassäng 2*** *DOC (%)*	***Bassäng 2*** *SS (%)*	***Bassäng 2*** *Turbiditet (%)*
Dag 1	50	6	90	86
Dag 2	44	0	88	89
Dag 3	49	0	89	90
Dag 4	45	3	86	89

Tabell 27 *- Resultat i procent visandes flotationsslam och TS från undersökningen i del 1: Bassäng 1 och 2.*

	Bassäng 1 *Flotationsslam (%)*	***Bassäng 1*** *TS (%)*	***Bassäng 2*** *Flotationsslam (%)*	***Bassäng 2*** *TS (%)*
Dag 1	0,83	0,1	0,86	0,17
Dag 2	1,04	0,15	0,58	0,3
Dag 3	0,5	0,13	0,57	0,6
Dag 4	0,51	0,09	0,42	0,51

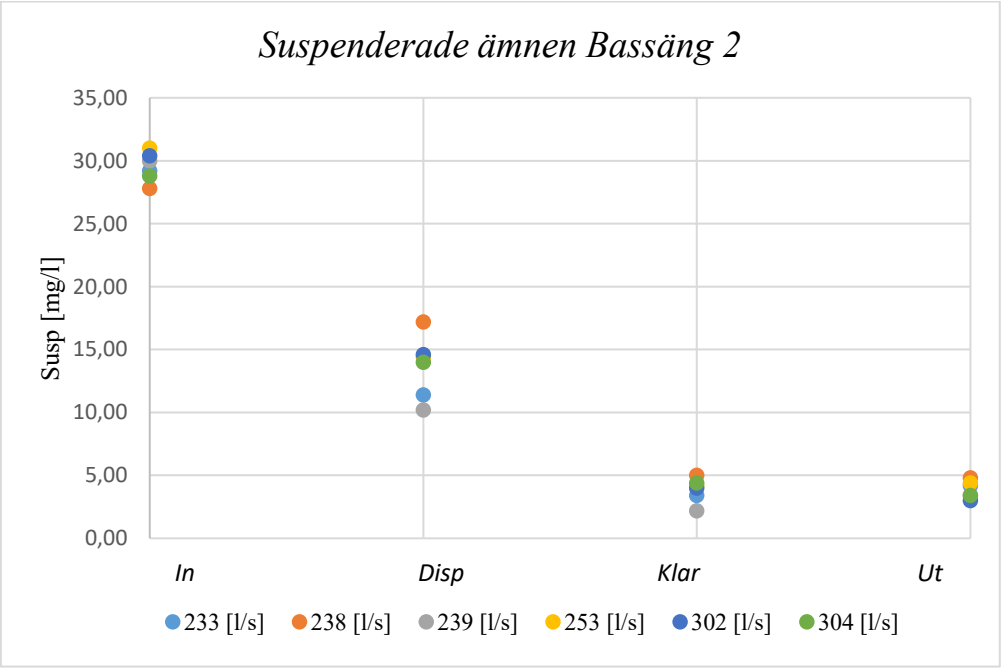
Tabell 28 *- Resultat i procent visandes flotationsslam och TS från undersökningen i del 2: Bassäng 2 och 4.*

	Bassäng 2 *Flotationsslam (%)*	***Bassäng 2*** *TS (%)*	***Bassäng 4*** *Flotationsslam (%)*	***Bassäng 4*** *TS (%)*
Dag 4	0,43%	0,31%	0,60%	0,06%
Dag 6	0,47%	0,71%	0,61%	0,12%

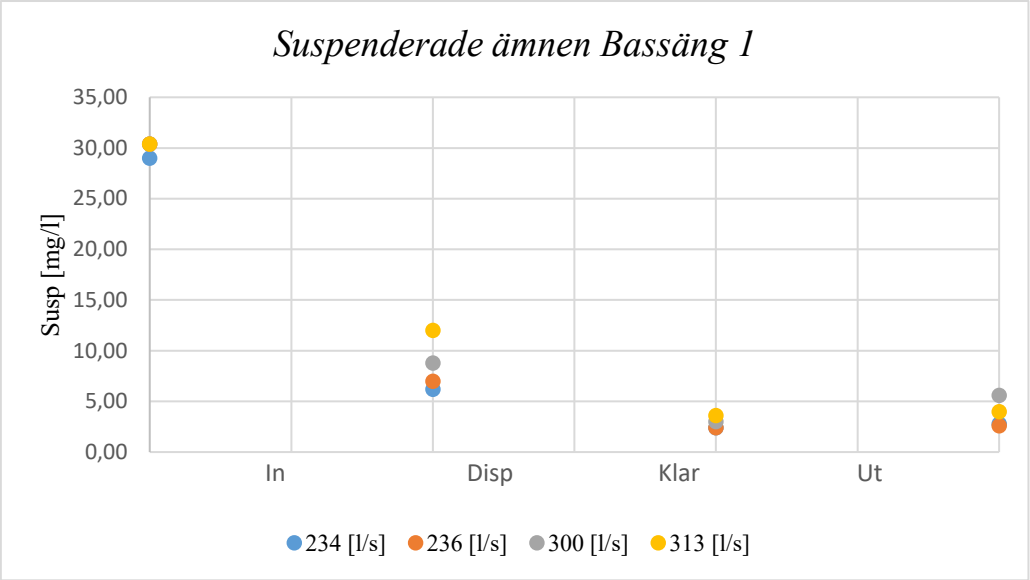
Tabell 29 *- Resultat i procent visandes flotationsslam och TS från undersökningen i del 3: Bassäng 4 och 5.*

	Bassäng 4 *Flotationsslam (%)*	***Bassäng 4*** *TS (%)*	***Bassäng 5*** *Flotationsslam (%)*	***Bassäng 5*** *TS (%)*
Dag 7	0,40%	0,16%	0,75%	0,18%
Dag 8	0,45%	0,13%	0,75%	0,15%

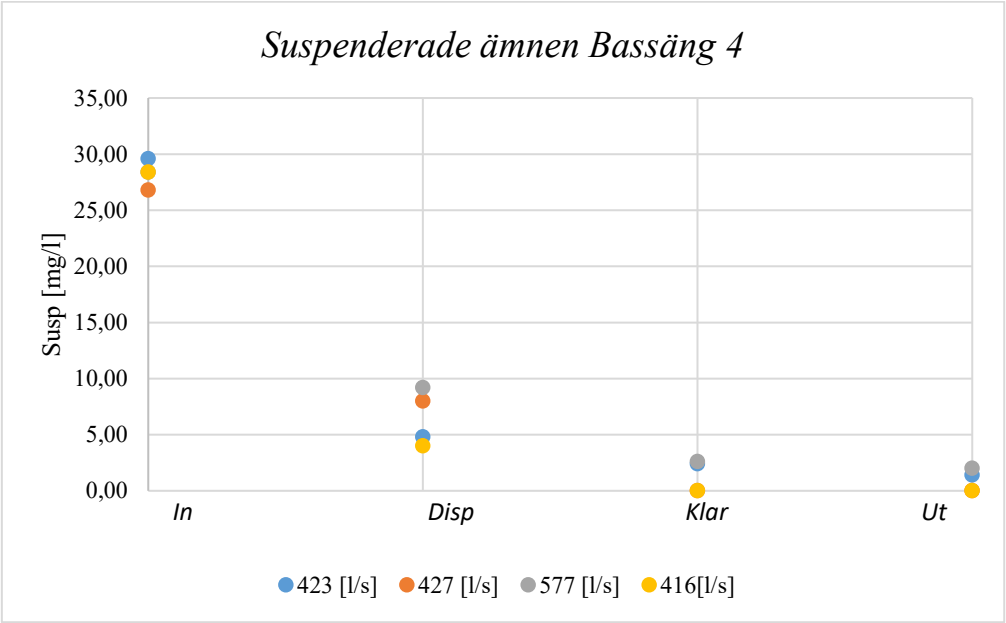
Nedan visas Suspenderat material och dess reduktion i sedimentations- och flotationsbassängerna vid olika flöden:



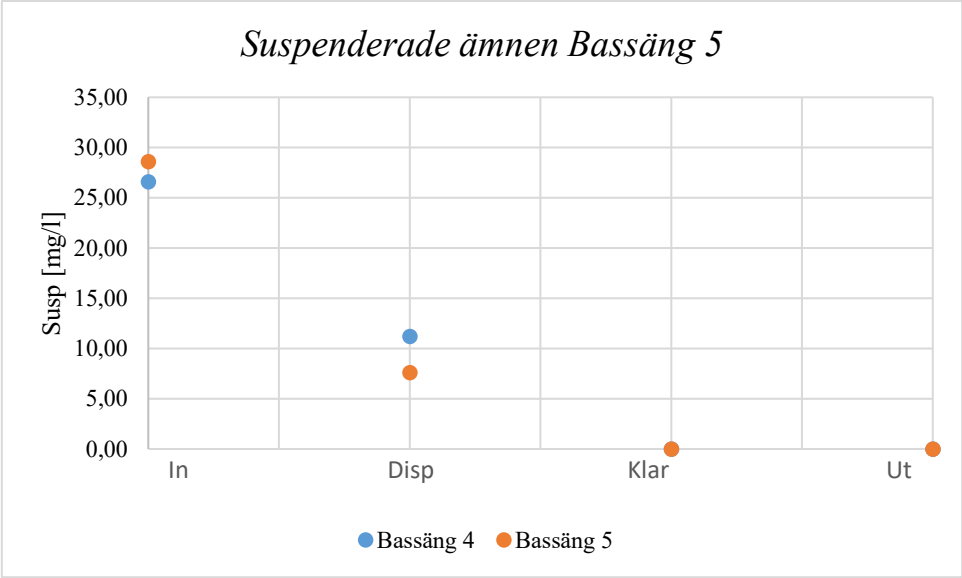
Figur 49 – sammanslagen suspenderande ämnen i bassäng 2 i flottationsbassängens in, disp, klar och ut-fas.



Figur 50 – sammanslagen suspenderande ämnen i bassäng 1 i flottationsbassängens in, disp, klar och ut-fas.

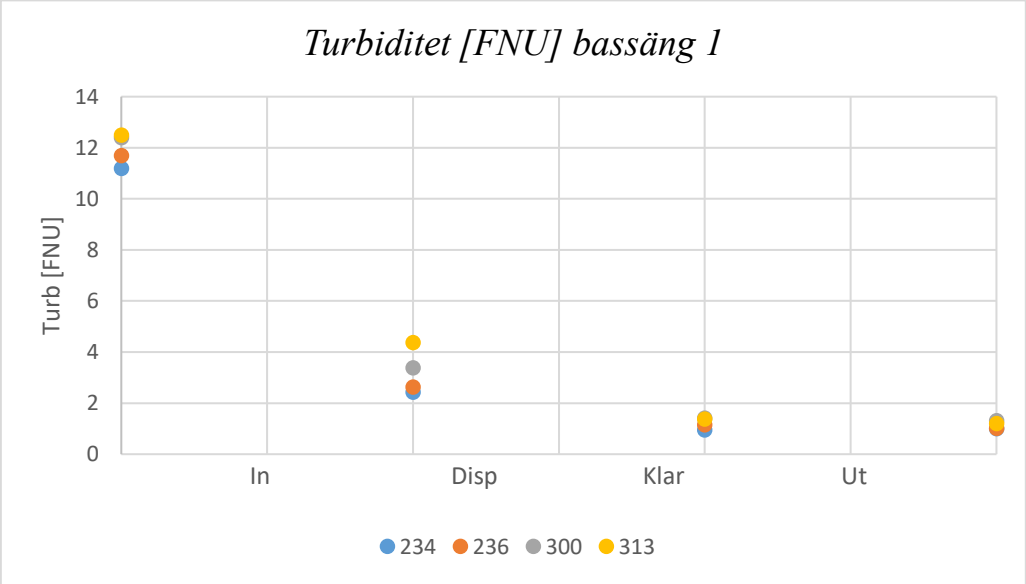


Figur 51 – sammanslagen suspenderande ämnen i bassäng 4 i flottationsbassängens in, disp, klar och ut-fas.



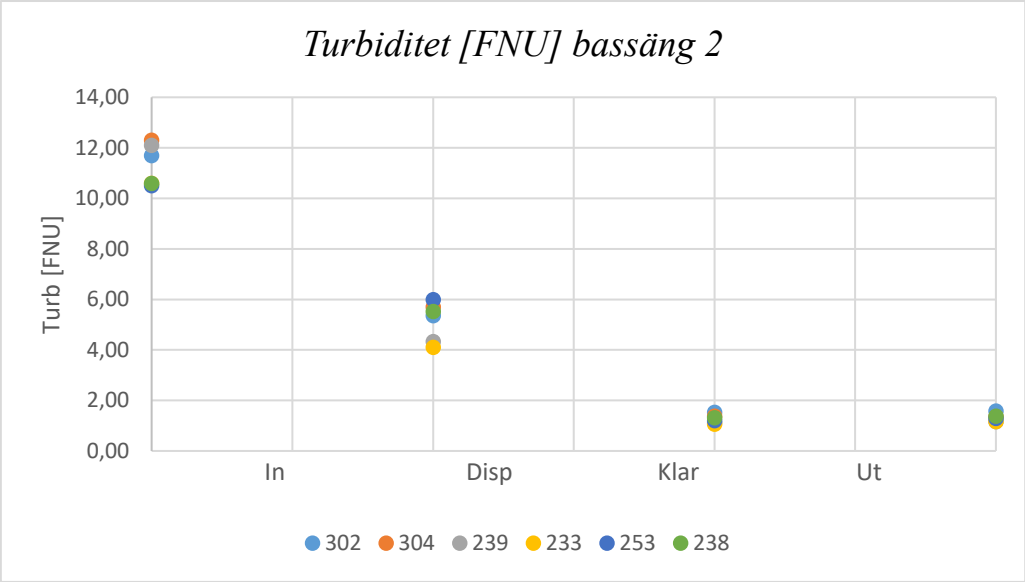
Figur 52 – sammanslagen suspenderande ämnen i bassäng 5 i flottationsbassängens in, disp, klar och ut-fas.

Nedan visas Turbiditet och dess reduktion i sedimentations- och flotationsbassängerna vid olika flöden:

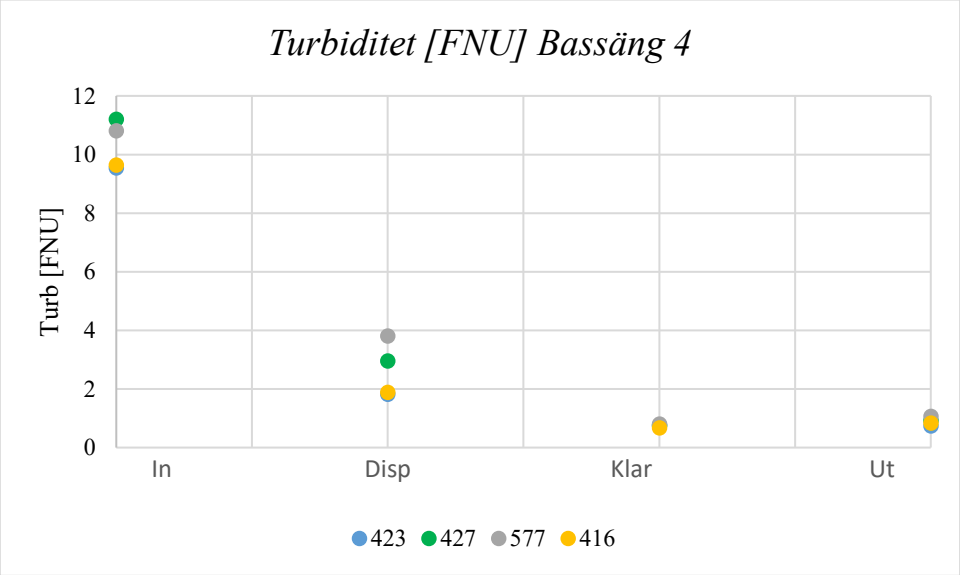


Figur 53 – sammanslagen turbiditet, bassäng 1, i flottationsbassängens in, disp, klar och ut-fas.

.



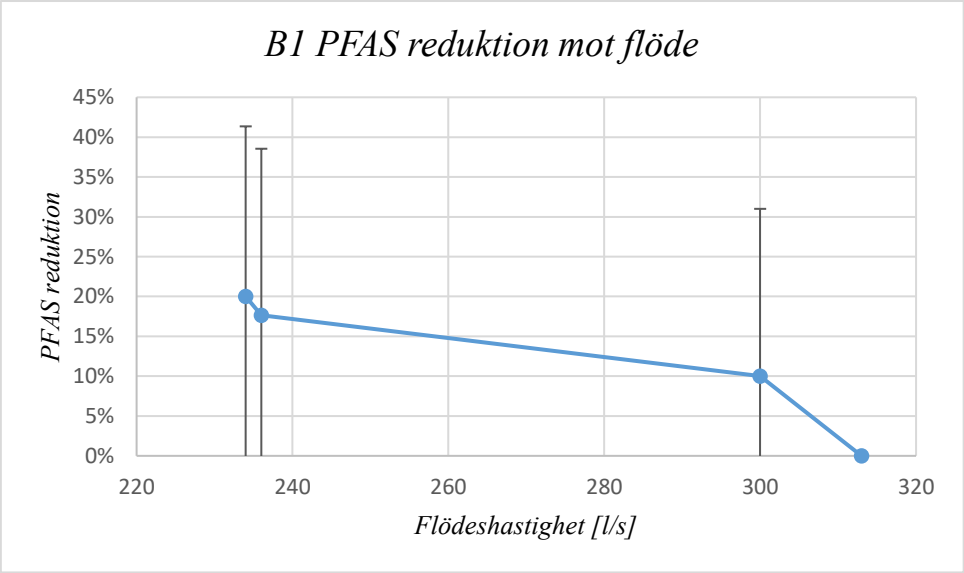
Figur 54 – sammanslagen turbiditet, bassäng 2, i flottationsbassängens in, disp, klar och ut-fas.



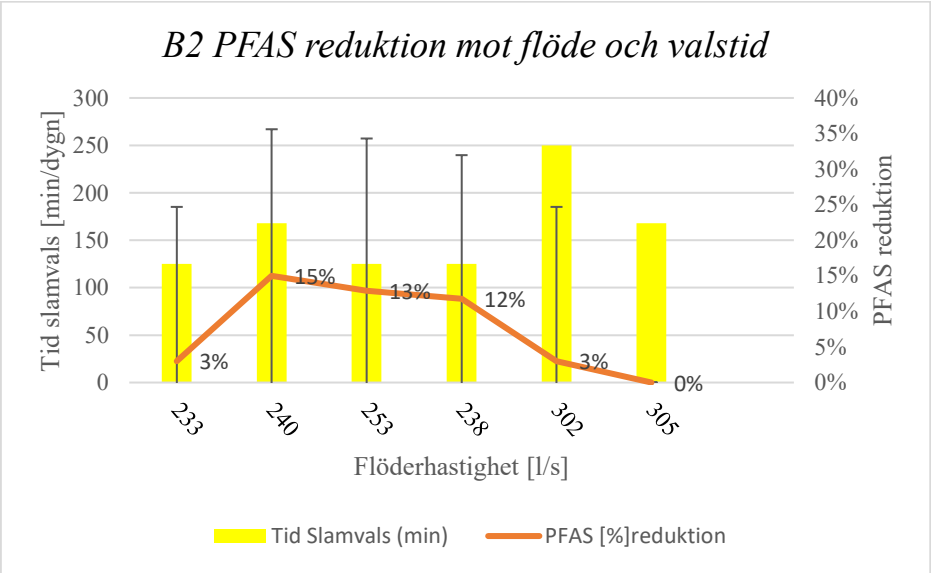
Figur 55 – sammanslagen turbiditet, bassäng 4, i flottationsbassängens in, disp, klar och ut-fas.

C. PFAS 4 beräkningar

Följande presenteras PFAS-reduktionen vid flödeshastighet (och för bassäng 2 slamvals-tid), se figur 19 och 20. Notera att då bassäng 1 inte har en roterande vals inte heller har en slamvals-tid.

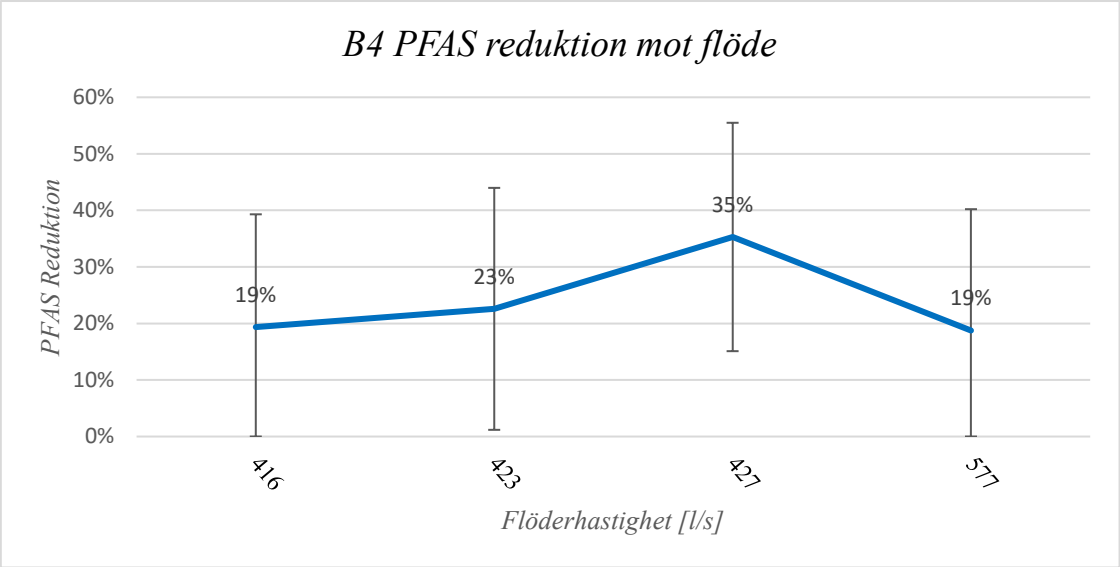


***Figur* 56** – *PFAS4 reduktion mot flöde i bassäng 1.*



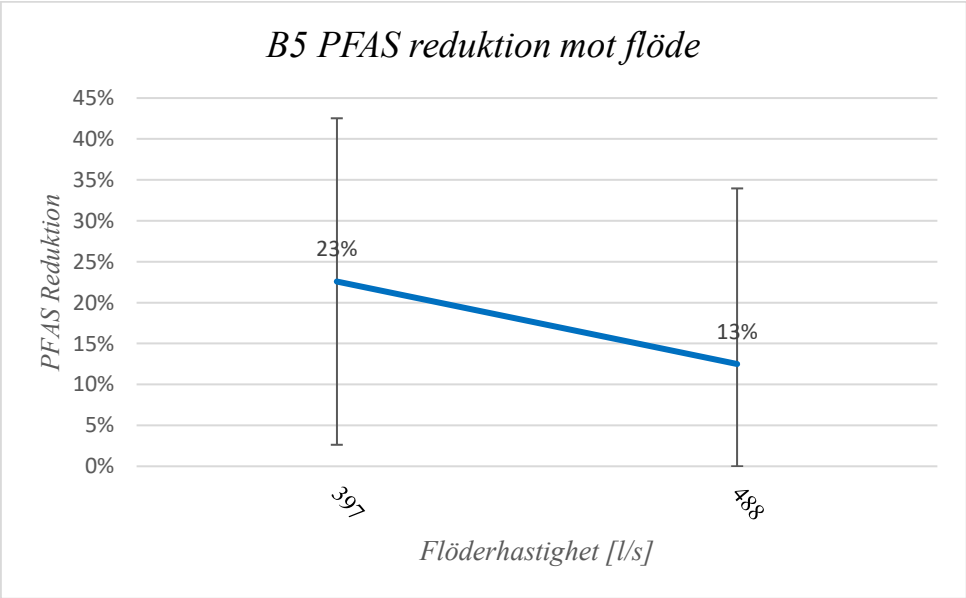
***Figur* 57**-*PFAS4 reduktion mot flöde i bassäng 2. Notera att resultat från del 2 även är sammanställt här.*

Följande presenteras PFAS-reduktionen vid flödeshastighet. För full beräkning av PFAS-reduktion och Osäkerheter i %.



Figur 58 *– PFAS4 reduktion mot flöde vid slamvalstiden 167 min. Notera att även resultat från del 3 presenteras här.*

Följande presenteras PFAS-reduktionen vid flödeshastighet och slamvals-tid.



Figur 59 *– PFAS4 reduktion mot flödeshastighet vid slamvalstiden 197 min.*

Nedan visas tabellerna som ligger som grund till Figur (33 till 36) för redovisning av PFAS4-reduktion mot flöde med data från tidigare exjobb:

Tabell 30 *– Sammanställning av flöden, PFAS4 reduktion, flotationsslam och ytbelastning för provtagningarna 2025 i bassäng 1. Tidigare exjobb erhåller ej provtagning av PFAS4 i bassäng 1.*

Datum	***Flöde*** *[l/s]*	***PFAS [ng/l]*** *råvatten*	***Reduktion*** *[%]*	***Flotationsslam*** *[l/s]*
6/3 2025	300	3,0	10%	2,38
11/3 2025	313	2,8	0%	3,22
12/3 2025	236	3,4	18%	1,16

20/3 2025	234	3,0	20%	1,16

Tabell 31 *– Sammanställning av: flöden, PFAS4-reduktion, flotationsslam och ytbelastning för provtagningarna utförda i examensarbetarna b 2023-2025 i bassäng 2.*

Datum	***Flöde*** *[l/s]*	***PFAS [ng/l]*** *råvatten*	***Reduktion*** *[%]*	***Flotationsslam*** *[l/min]*
6/3 2025	302	3,0	3%	255
11/3 2025	304	2,8	0%	260
12/3 2025	239	3,4	15%	203
20/3 2025	233	3,0	3%	198
1/4 2025	253	3,1	13%	216
2/4 2025	238	3,4	12%	271
2024	275	3,9	10%	234
2024	270	3,9	15%	227
2024	300	4,0	8%	254
2024	295	3,7	0%	248
2024	230	4,2	19%	197
2024	225	3,7	11%	190
2023	337	4,4	16%	236

Tabell 32 *– Sammanställning av: flöden, PFAS4-reduktion, flotationsslam och ytbelastning för provtagningarna utförda i examensarbetarna 2023-2025 i bassäng 4.*

Datum	***Flöde*** *[l/s]*	***PFAS [ng/l]*** *råvatten*	***Reduktion*** *[%]*	***Flotationsslam*** *[l/min]*
1/4 2025	423	3,1	23%	378
2/4 2025	427	3,4	35%	406
8/4 2025	577	3,2	19%	343
9/4 2025	416	3,1	19%	276
2024	520	3,9	15%	209
2024	480	3,9	28%	196
2024	400	4,0	30%	156
2024	400	3,7	32%	157
2024	330	4,2	24%	109
2024	390	3,7	30%	145
2023	500	4,4	27%	350

Tabell 33 *– Sammanställning av: flöden, PFAS4-reduktion, flotationsslam och ytbelastning för provtagningarna utförda i examensarbetarna 2023-2025 i bassäng 5.*

Datum	***Flöde*** *[l/s]*	***PFAS [ng/l]*** *råvatten*	***Reduktion*** *[%]*	***Flotationsslam*** *[l/min]*
8/4 2025	488	3,2	13%	461
9/4 2025	397	3,1	23%	369
2023	521	5,0	24%	435
2023	483	4,3	19%	393
2023	469	5,2	21%	379
2023	384	5,1	25%	308
2023	394	5,3	34%	317
2023	391	4,7	21%	316

2023	332	4,8	38%	257
2023	317	5,5	38%	241
2023	328	4,8	21%	239

D. Osäkerhetsberäkning

Tabell 34 *- Osäkerhet i kvalitets-parametrar angavs från internt labb som följande:*

PARAMETER	MÄTOMRÅDE,enhet	ANALYSOSÄK. Täckn.fakt.=2
ALKALINITET, HCO3	4-<13 mg/l HCO3 13-240 mg/l HCO3	±25% ±10%
KONDUKTIVITET	5-<14,5 14,5-1290 mS/m	±10% ±5%
*LÖST ORGANISKT KOL, DOC	1-<4 mg/l C 4-10 mg/l C	±16% ±15%
TOTALT ORGANISKT KOL, TOC	1-<4 mg/l C 4-10 mg/l C	±16% ±15%
TURBIDITET	0,10-200 FNU	±20%
*SUSPENDERADE ÄMNEN	2 – 1000 mg/l	±15%
*UV-ABS/TRANS, 254nm	0,001 – 3,000 Abs	±10%

*=Analys för vilken laboratoriet inte är ackrediterad.

Osäkerhet PFAS4 del 1:

Följande visar Tabeller med PFAS i råvatten, samt utgående fasen i de olika bassängerna. Notera att Bassängerna i detta avsnitt kan benämnas som ”fällning”. Nedan visas mätfelen för de olika dagarna och för de olika ämnena (+- ng/l).

Tabell 35 *– Osäkerheter under dagarna 1–4*

Osäkerhet + - [ng/l]				
PFAS	**Dag 1**	**Dag 2**	**Dag 3**	**Dag 4**
PFOA	0,3	0,3	0,3	0,3
PFNA	0,6	0,6	0,6	0,6
PFOS	0,48	0,42	0,57	0,48
PFHxS	0,3	0,3	0,3	0,3

Tabell 36 – Osäkerheter under dagarna 5–8

Osäkerhet + - [ng/l]				
PFAS	Dag 5	Dag 6	Dag 7	Dag 8
PFOA	0,3	0,3	0,3	0,3
PFNA	0,6	0,6	0,6	0,6
PFOS	0,51	0,54	0,54	0,45
PFHxS	0,3	0,3	0,3	0,3

Dessa slogs ihop med ekvation (7) och gav följande värden, samt hur stor denna andel är i %:

Tabell 37 – Kvadratsummerade ihop PFAS4 grupperna efter dag (alla förutom PFNA) samt beräknade i procent genom att dela den sammanslagna osäkerheten på halten i råvattnet den dagen.

Tot					
osäkerhet	(+-) ng/l	%	osäkerhet	(+-) ng/l	%
Dag 1	0,64	21%	Dag 5	0,66	21%
Dag 2	0,60	21%	Dag 6	0,69	20%
Dag 3	0,71	21%	Dag 7	0,69	21%
Dag 4	0,64	21%	Dag 8	0,62	20%

För beräkning av det maximala samt minst-möjliga värdet av PFAS adderades och subtraherades den totala osäkerheten från $PFAS_{differans}$ som i tabellerna nedan är beräknad som reduktion. Därefter beräknades storleken på eventuella felstaplar som skulle används i figur 56-59. Max- och min-felen som användes beräknades genom att dividera max eller minvärdet på ursprungshalten i råvattnet.

Tabell 38 – Bassäng 1 beräkning av felstaplar

	Bassäng 1					
	reduktion [ng/l]	reduktion [%]	Max [ng/l]	Min [ng/l]	max felsta	min felstapel
Dag 1	0,3	10%	0,94	-0,34	31%	0%
Dag 2	0	0%			0%	0%
Dag 3	0,6	18%	1,31	-0,11	39%	0%
Dag 4	0,6	20%	1,24	-0,04	41%	0%

Tabell 39 – Bassäng 2 beräkning av felstaplar

	Bassäng 2					
	reduktion [ng/l]	reduktion [%]	Max	Min	max felsta	min felstapel
Dag 1	0,1	3%	0,74	-0,54	25%	0%
Dag 2	0	0%			0%	0%
Dag 3	0,5	15%	1,21	-0,21	36%	0%
Dag 4	0,1	3%	0,74	-0,54	25%	0%
Dag 5	0,4	13%	1,06	-0,26	34%	0%
Dag 6	0,4	12%	1,09	-0,29	32%	0%

Tabell 40 *– Bassäng 4 beräkning av felstaplar*

	Bassäng 4					
	reduktion [ng/l]	**reduktion [%]**	**Max**	**Min**	max felsta	min felstapel
Dag 5	0,7	23%	1,36	0,04	44%	1%
Dag 6	1,2	35%	1,89	0,51	55%	15%
Dag 7	0,6	19%	1,29	-0,09	40%	0%
Dag 8	0,6	19%	1,22	-0,02	39%	0%

Tabell 41 *– Bassäng 5 beräkning av felstaplar*

	Bassäng 5					
	reduktion [ng/l]	**reduktion [%]**	**Max**	**Min**	max felsta	min felstapel
Dag 7	0,4	13%	1,09	-0,29	34%	0%
Dag 8	0,7	23%	1,32	0,08	43%	3%

E. Massbalansberäkningar

Tabell 42 - Utveckling av tabell 14 med p*arametrar för beräkning av massbalans av PFAS4 i dricksvatten vid provtagningarnas lägsta flöden. Flödena motsvarar en dygnsproduktion på cirka 155 000 m³/dygn*.

	PFAS4 ng/l Råvatten	***Reduktion %***	***Flöde [l/s]***	***Vol/dag [l/d]***	***Massa PFAS4 [ng/d] dricksvatten***
Bassäng 1	3	20%	234	20 217 600	48 522 240
Bassäng 2	3	3%	233	20 131 200	58 581 792
Bassäng 3	3,05	0%	129	11 145 600	33 994 080
Bassäng 4	3,1	19%	416	35 942 400	90 251 366
Bassäng 5	3,1	23%	397	34 300 800	81 876 009
Pulsator	3,05	0%	400	34 560 000	105 408 000

Tabell 43 - Utveckling av tabell 15 med *parametrarna för beräkning av massbalans av PFAS4 i dricksvatten vid provtagningarnas högsta flöden. Flödena motsvarar en dygnsproduktion på cirka 190 000 m³/dygn.*

	PFAS4 ng/l Råvatten	***Reduktion %***	***Flöde [l/s]***	***Vol/dag [l/dygn]***	***Massa PFAS4 [ng/d] dricksvatten***
Bassäng 1	2,8	0%	313	27 043 200	75 720 960
Bassäng 2	2,8	0%	304	26 265 600	73 543 680
Bassäng 3	3	0%	129	11 145 600	33 436 800
Bassäng 4	3,2	19%	577	49 852 800	129 218 457
Bassäng 5	3,2	13%	488	42 163 200	117 382 348
Pulsator	3	0%	400	34 560 000	103 680 000

Tabell 44 - Utveckling av tabell 17 med *parametrar för beräkning av Massbalans av slam vid provtagningarnas lägsta flöden. Flödena motsvarar en dygnsproduktion på cirka 155 000 m³/dygn. Råvattenhalt på 3 [ng/l]*

	Reduktion %	***Flöde [l/s]***	***Vol bassäng [l/dygn]***	***Flotationsslam [l/min]***	***Vol slam ut [l/dygn]***
Bassäng 1	20%	234	20 217 600		96 007
Bassäng 2	3%	233	20 131 200	198	114 036
Bassäng 3	0%	129	11 145 600		0

Bassäng 4	19%	416	35 942 400	228	131 330
Bassäng 5	23%	397	34 300 800	326	218 989
Pulsator	0%	400	34 560 000		0

Tabell 45 - Utveckling av tabell 18

	Massa i slam [ng/dygn]	***Koncentration i slam [ng/l]***	***Tot PFAS4 i slam [g/dygn]***	***Tot PFAS4 i slam [g/år]***
Bassäng 1	12 332 736	128	0,059	22
Bassäng 2	1 842 004	16		
Bassäng 3	0	0		
Bassäng 4	20 828 620	159		
Bassäng 5	24 062 011	110		
Pulsator	0	0		

Tabell 46 - Utveckling av tabell 19 med *parametrar för beräkning av massbalans av slam vid provtagningarnas lägsta flöden. Flödena motsvarar en dygnsproduktion på cirka 190 000 m^3/dygn. Råvattenhalt på 3 [ng/l].*

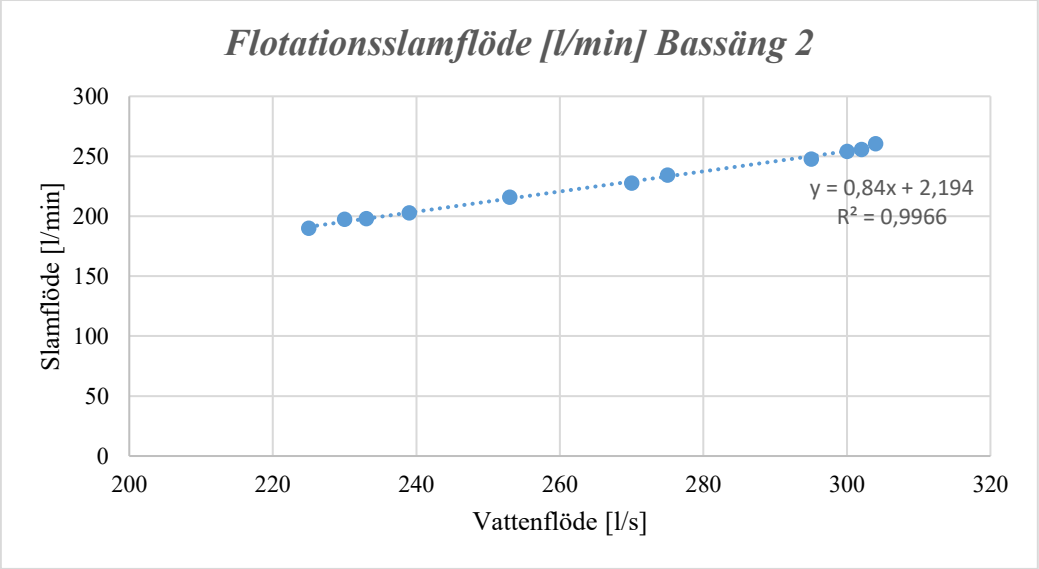
	Reduktion %	***Flöde [l/s]***	***Vol bassäng [l/dygn]***	***Flotationsslam [l/min]***	***Vol slam ut [l/dygn]***
Bassäng 1	0%	313	27 043 200		257 091
Bassäng 2	0%	304	26 265 600	256	147 690
Bassäng 3	0%	129	11 145 600		0
Bassäng 4	19%	577	49 852 800	348	200 715
Bassäng 5	13%	488	42 163 200	419	281 597
Pulsator	0%	400	34 560 000		0

Tabell 47 - Utveckling av tabell 20 *visar resultaten av massbalansen, notera att halten PFAS4 är i [g/år] och inte [ng/l].*

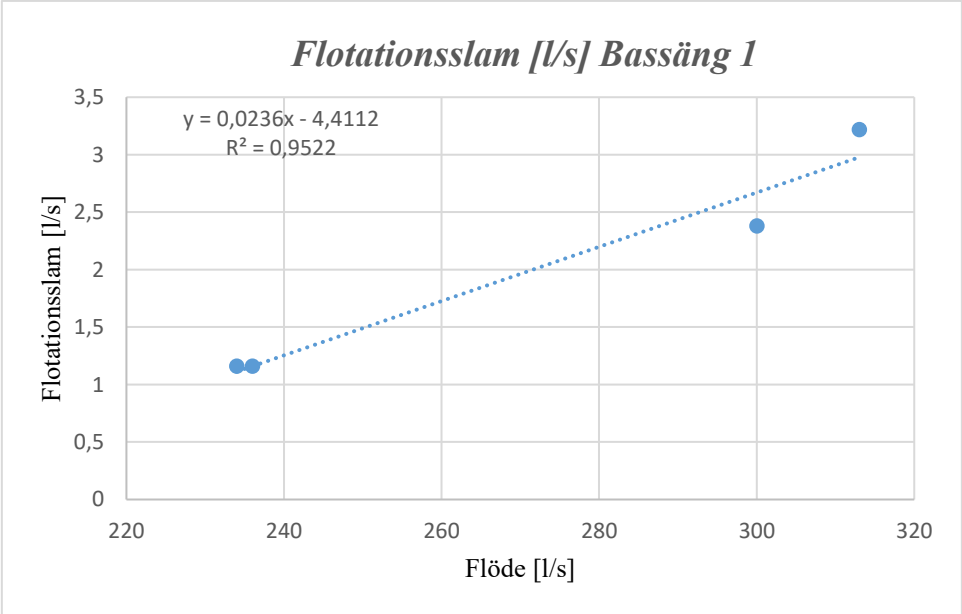
	Massa i slam [ng/dygn]	***Koncentration i slam [ng/l]***	***Tot PFAS4 i slam [g/dygn]***	***Tot PFAS4 i slam [g/år]***
Bassäng 1	0	0	0,045	16
Bassäng 2	0	0		
Bassäng 3	0	0		
Bassäng 4	28 416 096	142		
Bassäng 5	16 443 648	58		
Pulsator	0	0		

F. Optimeringsberäkningar

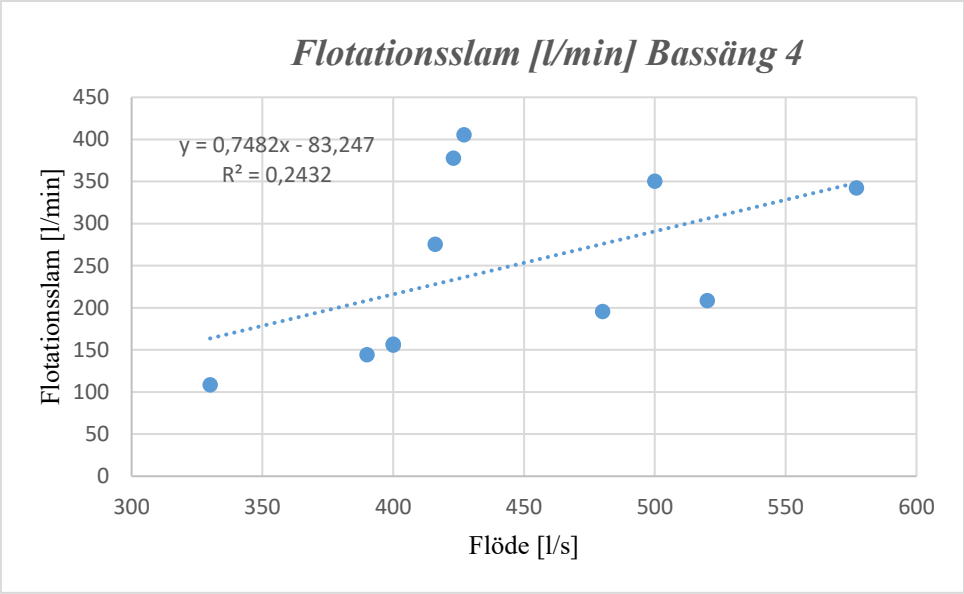
Diagram samband mellan Flotationsslam och flödeshastighet i de olika bassängerna.



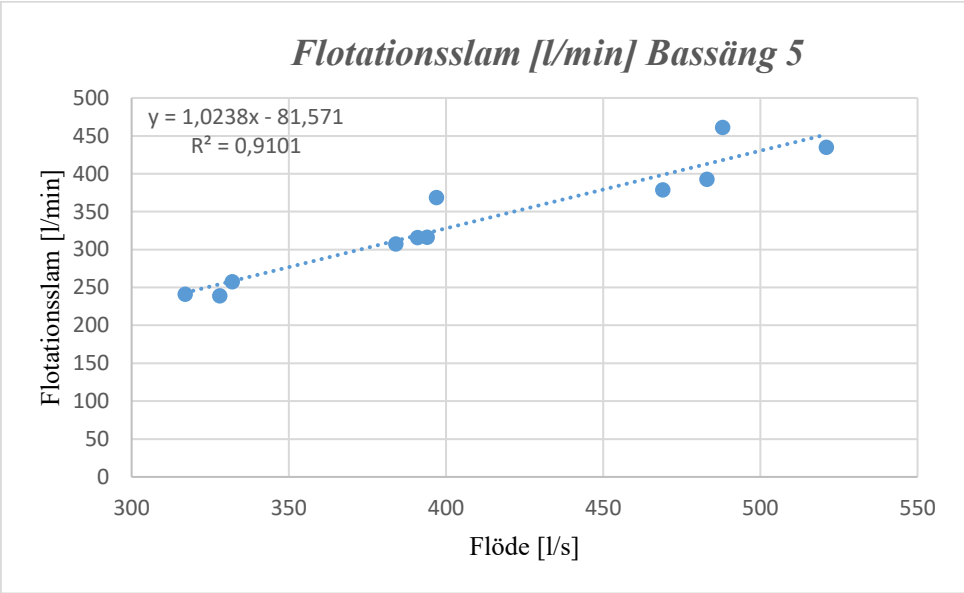
Figur 60 *- Bassäng 5 ganska bra samband (R^2 över 0,99). En ännu mer korrekt relation mellan flotationsslam och vattenflöde får med ekvationen: Slamuttag/min=0,8229*flöde genom bassäng+6,2452 som får om enbart värdena från tidigare år stoppas in i diagrammet.*



Figur 61 *- då Bassäng 1 inte har en roterande vals kunde inte slamtid i l/min tas ut. Därför jämfördes denna med medelvärden i Norrvattens databad för slamuttag i l/s.*



Figur 62 *- Bassäng 4 med ganska spridda värden (lågt R^2)*



Figur 63 *- Bassäng 5 ganska bra samband (R^2 över 0,9)*

Ekvationerna för samband mellan flotationsslam mot flöde användes i modellen för att enklare kunna beräkna mängden vatten som försvinner med slammuttag.

För första optimeringen:

	Flöden						
	Bassäng 1	Bassäng 2	Bassäng 4	Bassäng 5		Bassäng 3	Pullsator
[l/s]	250	280	400	400		129	400
L/dag	21600000	2,4E+07	3,5E+07	3,5E+07		1,1E+07	3,5E+07
m3/dag	21600	24192	34560	34560		11145,6	34560
					Tot flöde:	**160618**	**[m3/dag]**

PFAS [ng/l] P100
4,6

Ändra gärna

	Reduktion [%]	Flödes [l/s]	Vol bassäng [l/dygn]	Cons i dricksvatten [ng/dygn]
Bassäng 1	18%	250	21600000	81475200
Bassäng 2	10%	280	24192000	100154880
Bassäng 3	0%	129	11145600	51269760
Bassäng 4	25%	400	34560000	119232000
Bassäng 5	20%	400	34560000	127180800
Pullsator	0%	400	34560000	158976000

Tot PFAS [ng/dyng]	Tot PFAS [ng/l]
638288640	4,0

Färgskala Förklaring

Under gränsvärde (<4 [ng/l])
Gränsvärde på 4 [ng/l]
Över gränsvärdet (>4[ng/l])

Högsta flödet med en ännu god reduktion, exakta värden bakom modellen.

Optimering lägre flöde:

	Flöden						
	Bassäng 1	Bassäng 2	Bassäng 4	Bassäng 5		Bassäng 3	Pullsator
[l/s]	235	240	390	330		129	400
L/dag	20304000	2,1E+07	3,4E+07	2,9E+07		1,1E+07	3,5E+07
m3/dag	20304	20736	33696	28512		11145,6	34560
					Tot flöde:	**148954**	**[m3/dag]**

PFAS [ng/l] P100
4,9

Ändra gärna

	Reduktion [%]	Flödes [l/s]	Vol bassäng [l/dygn]	Cons i dricksvatten [ng/dygn]
Bassäng 1	20%	235	20304000	79591680
Bassäng 2	15%	240	20736000	86365440
Bassäng 3	0%	129	11145600	54613440
Bassäng 4	30%	390	33696000	115577280
Bassäng 5	38%	330	28512000	86619456
Pullsator	0%	400	34560000	169344000

Tot PFAS [ng/dyng]	Tot PFAS [ng/l]
592111296	4,0

Färgskala Förklaring

Under gränsvärde (<4 [ng/l])
Gränsvärde på 4 [ng/l]
Över gränsvärdet (>4[ng/l])

Optimering vid lägre flöde, exakta värden bakom modellen.

Optimering högre flöden:

	Flöde						
	Bassäng 1	Bassäng 2	Bassäng 4	Bassäng 5		Bassäng 3	Pullsator
[l/s]	280	280	500	500		129	400
L/dag	24192000	24192000	43200000	43200000		11145600	34560000
m3/dag	24192	24192	43200	43200		11145,6	34560
					Tot flöde:	**180490**	**[m3/dag]**

PFAS [ng/l] P100
4,6

Ändra gärna

	Reduktion [%]	Flödes [l/s]	Vol bassäng [l/dygn]	Cons i dricksvatten [ng/dygn]
Bassäng 1	15%	280	24192000	94590720
Bassäng 2	15%	280	24192000	94590720
Bassäng 3	0%	129	11145600	51269760
Bassäng 4	20%	500	43200000	158976000
Bassäng 5	15%	500	43200000	168912000
Pullsator	0%	400	34560000	158976000

Tot PFAS [ng/dyng]	Tot PFAS [ng/l]
727315200	4,0

Färgskala Förklaring
Under gränsvärde (<4 [ng/l])
Gränsvärde på 4 [ng/l]
Över gränsvärdet (>4[ng/l])

Optimering högre flöde, mer vatten till bassäng 4 och 5. Exakta siffror bakom modellen.

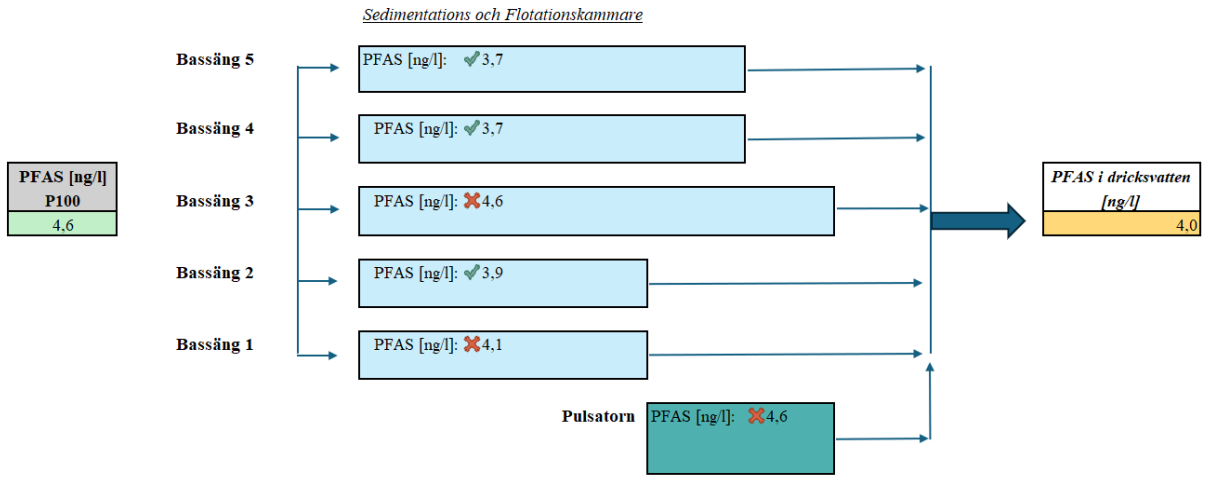
Ytterligare optimeringsförsök:

Vad skulle resultatet bli om vi lät bassäng 1 och 5 gå i höga flöden (detta är en fortsättning på undersökandet av vilka bassänger som skulle kunna öka flödeshastigheten vid tillfällen produktionen av dygnsvolymen är hög):

Normalflöde (medelflöde) [l/s] Januari-Aprill 2025

		Bassäng 1	Bassäng 2	Bassäng 4	Bassäng 5	Bassäng 3	Pullsator
Ändra gärna	[l/s]	330	280	450	500	129	400
	L/dag	2,9E+07	2,4E+07	3,9E+07	4,3E+07	11145600	34560000
	m3/dag	28512	24192	38880	43200	11145,6	34560
						Tot p dag:	**180489,6**

	Reduktion [%]	Flödes [l/s]	Vol bassäng [l/dygn]	Massa i dricksvatten [ng/dygn]
Bassäng 1	10%	330	28512000	118039680
Bassäng 2	15%	280	24192000	94590720
Bassäng 3	0%	129	11145600	51269760
Bassäng 4	20%	450	38880000	143078400
Bassäng 5	20%	500	43200000	158976000
Pullsator	0%	400	34560000	158976000



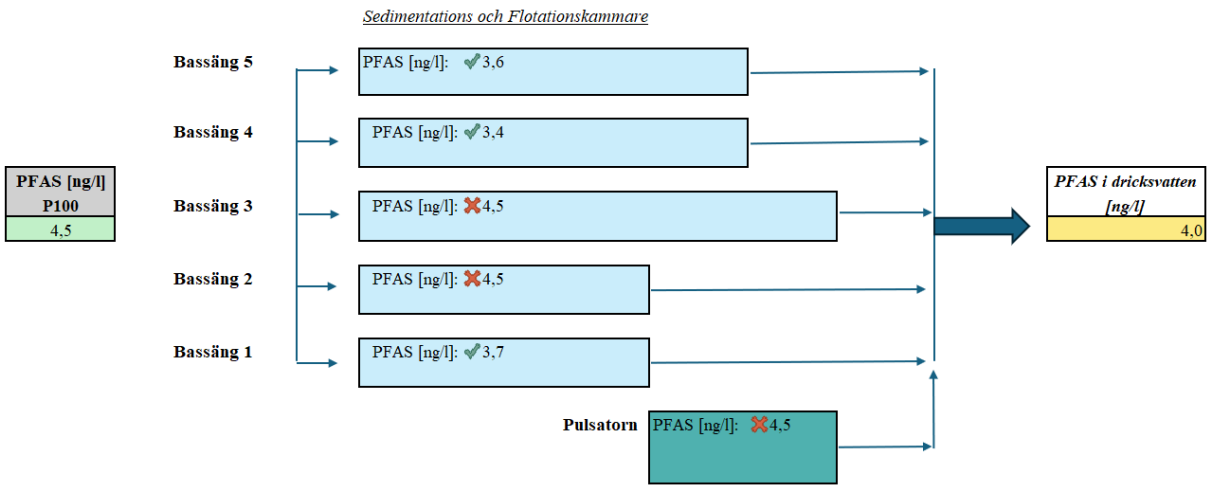
Figur 64 - *i detta fall överskriver dock bassäng 1 sitt max flöde för god reduktion, vilket gör att det troligen blir en sämre PFAS4-reduktion än vad som visas i modellen. Flödena gav en dygnsproduktion på ca 180 490 [m³/dygn].*

Följande bygger vidare på figur 43, och undersöker avstängning av bassäng 2 lägre PFAS4-reduktion.

Normalflöde (medelflöde) [l/s] Januari-Aprill 2025

Bassäng 1	Bassäng 2	Bassäng 4	Bassäng 5	Bassäng 3	Pullsator
250	280	400	400	129	400
2,2E+07	2,4E+07	3,5E+07	3,5E+07	11145600	34560000
21600	24192	34560	34560	11145,6	34560
				Tot p dag:	**160617,6**

	Reduktion [%]	Flödes [l/s]	Vol bassäng [l/dygn]	Massa i dricksvatten [ng/dygn]
Bassäng 1	18%	250	21600000	79704000
Bassäng 2	0%	280	24192000	108864000
Bassäng 3	0%	129	11145600	50155200
Bassäng 4	25%	400	34560000	116640000
Bassäng 5	20%	400	34560000	124416000
Pullsator	0%	400	34560000	155520000



Figur 65 *- i detta fall är flotationen i bassäng 2 avstängd vid lite högre flödeshastigheter. Ser ut att fortfarande köra på bra.*