

Jämförelse av grumlighetsmätare för vatten

Thomas Tallberg

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Elektroteknik
Identifikationsnummer:	3072
Författare:	Thomas Tallberg
Arbetets namn:	Jämförelse av grumlighetsmätare för vatten
Handledare (Arcada):	Rene Herrman
Uppdragsgivare:	Arla-Ingman
<p>Sammandrag:</p> <p>Detta arbete utfördes på uppdrag av Arla-Ingman i samarbete med Massby Facility & Services och behandlar automatisering av grumlighetsmätning. Syftet med arbetet var att undersöka om mätvärden inhämtade med hjälp av det nya online-systemet ABB 7997-201 korrelerar med mätvärden inhämtade med det gamla systemet HACH Portable Turbidimeter 2100P IS vid mätning av grumlighet i vatten. Jämförelsen gjordes för att välja den optimala givaren för automatisering av mätsystemet och utfördes på följande parametrar: noggrannhet, konsekvens, driftsäkerhet, kalibrering och rengöring. Anderson (2005) som refereras i arbete konstaterar att även om det skett framsteg i teknologin inom turbiditetsmätning och olika turbiditetsmätare har producerats, motsvarar resultat från turbiditetsmätare av olika design vanligtvis inte varandra. I teoridelen presenterades funktionsprincipen för mätning av turbiditet samt olika slag av turbiditetsmätare. En översikt över de viktigaste turbiditetsenheterna och standarderna för turbiditetsmätning framställdes. Olika slag av instrumentdesigner och typer av mätinstrument presenterades. En utförligare beskrivning av nephelomätaren gjordes, eftersom den var relevant för arbetets syfte.</p> <p>Undersökningen gjordes så att online-systemet ABB 7997-201 anslöts till samma bruksvattenrör från vilket man tar vattenprover då man mäter turbiditet manuellt med 2100P IS-mätaren. För att få större variation i mätresultaten anslöts ett identiskt system till råvattenröret så att högre turbiditetsvärden erhöles. Mätresultaten som uppmättes från både bruks- och råvattenröret jämfördes sinsemellan och sammanställdes i tabeller. Detta gjordes för att avgöra tillförlitligheten med avseende på de nämnda parametrarna. Resultaten visade en procentuell skillnad mellan de olika instrumentens mätvärden på 5-15 % för bruksvatten och 15-18 % för råvatten. Orsaker till detta diskuterades och svagheter i undersökningens genomförande lyftes upp. Avslutningsvis reflekterades över olika sätt att förbättra undersökningen. För automatisering av grumlighetsmätningen rekommenderar jag på basis av min studie ABB:s online-system eftersom det gör det möjligt att optimera reningsprocessen, vilket var ett av syftena i denna studie.</p>	
Nyckelord:	Arla-Ingman, Grumlighet, Turbiditetsmätare, NTU, online-system,
Sidantal:	41
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	12.5.2010

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Electrotechnic
Identification number:	3072
Author:	Thomas Tallberg
Title:	Jämförelse av grumlighetsmätare för vatten
Supervisor (Arcada):	Rene Herrman
Commissioned by:	Arla Ingman
<p>Abstract:</p> <p>This thesis work was done on behalf of Arla Ingman in cooperation with Massby Facility & Services and concerns automation of the process of measuring turbidity. The purpose of the study was to examine if the measurement values collected with the new online system ABB 7997-201 correlates with measurement values collected with the old system HACH Portable Turbidimeter 2100P IS, when measuring turbidity in water. Andersson (2005) states that although technological advances in turbidity measurement have produced a variety of instrument types, turbidity instruments of different designs commonly do not yield identical or equivalent results.. The examination was done on the following parameters: accuracy, consistency, reliability, calibration and cleaning. In the theory section the function principle for measuring turbidity in water and different sorts of turbidimeters were presented. Outlines of the most important turbidimeters and standards as well as different designs of instruments and types were presented. A detailed description of the nephelometer was given, since it is relevant in my thesis work.</p> <p>The examination was executed by connecting the online system ABB 7997-201 to the water pipe for drinking water, from where samples are taken when measuring turbidity manually with the 2100P IS turbidimeter. To get more variation in the results an identical system was connected to the water pipe for raw water, thus getting higher levels of turbidity. Measurement values collected from the drinking water pipe and raw water pipe were then compared to each other and compiled in a table. This was done to determine the reliability regarding the parameters mentioned above. The results showed a difference in the measured values: 5-15 % for drinking water and 15-18 % for raw water. Therefore the results indicate that the measured values do not correlate with each other. Possible reasons for this were discussed and the shortcomings of the study were brought up. In conclusion different ways to improve the execution of the study were reflected upon. Based on my study I would recommend the use of the online-system for measuring turbidity, since it makes it possible to optimize the cleaning process, which was one of the purposes with this thesis work.</p>	
Keywords:	Arla-Ingman, Grumlighet, Turbiditetsmätare, NTU, online-system
Number of pages:	41
Language:	Swedish
Date of acceptance:	12.5.2010

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Sähköelektroniikka
Tunnistenumero:	3072
Tekijä:	Thomas Tallberg
Työn nimi:	Jämförelse av grumlighetsmätare för vatten
Työn ohjaaja (Arcada):	Rene Herrman
Toimeksiantaja:	Arla Ingman
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Tämä opinnäytetyö on suoritettu Arla Ingmanin toimeksiannosta yhteistyössä Massby Facility & Services'in kanssa ja käsittää sameusmittauksen automatisoinnin. Työn tavoitteena oli selvittää jos mittausarvot tuotu uuden ABB online systeemin avulla vastaavat mittausarvoja tuotu vanhan HACH 2100P IS systeemin avulla veden sameuden mittauksessa. Anderson (2005) on todennut että vaikka edistysaskeleita on tehty sameusmittauksen teknologiassa, eri sameusmittalaitteiden tulokset eivät vastaa riittävän hyvin toisiaan. Vertailu on suoritettu seuraavilla parametreilla: tarkkuus, toimintavarmuus, kalibrointi ja puhdistettavuus. Teoriaosassa on esitetty sameusmittauksen toimintaperiaate ja erilaisia sameusmittareita. Tärkeimmät sameusyksiköt ja sameusmittauksen standardit on esitetty kirjoituskatsauksessa. Mittaustarpeeseen soveltuu parhaiten nephelomittari ja se on myös kuvailtu tarkemmin kirjoitusosassa.</p> <p>Työn kokeiluosassa ABB:n valmistama mittalaite kytkettiin samaan käyttövesiputkeen johon oli liitetty jo aiemmin HACH:in vaatima näytteenottopiste. Toinen mittasarja tehtiin identtisellä laitteistolla joka oli kytketty raakavesilinjaan. Tämä mahdollisti mittausmenetelmiä korkeammalla sameusarvolla. Tulosten mukaan mittalaitteilla saadut sameusarvot erosivat toisistaan 5-15 % käyttöveden ja 15–18 % raakaveden osalta. Vertailtujen mittausmenetelmien merkittävämmäksi syyksi tulosten hajontaan osoittautui mittalaitteiden puutteellinen kalibrointi ja mittalaitteeseen kertyneet epäpuhtaudet. Työn johtopäätöksissä on kuvattu vaihtoehtoisia tapoja parantaa mittausten luotettavuutta. Tässä yhteydessä todettiin myös ABB:n toimittama mittalaitteiston soveltuvuus toimeksiantajan prosessilinjaan.</p>	
Avainsanat:	Arla-Ingman, Grumlighet, Turbiditetsmätare, NTU, online-system,
Sivumäärä:	41
Kieli:	Ruotsi
Hyväksymispäivämäärä:	12.5.2010

Innehållsförteckning

Inledning.....	9
1. SYFTE OCH MATERIAL	9
1.1. Syfte.....	9
1.2. Material.....	11
2. TURBIDITET.....	11
2.1. Funktionsprincipen för mätning av turbiditet.....	12
2.1.1. Partiklarnas inverkan.....	12
2.1.2. Ljuskälla	13
2.1.3. Fotodetektor	14
2.1.4. Turbiditetsmätarens funktion	14
2.2. Turbiditetsenheter	15
2.3. Standarder.....	16
2.3.1. US EPA metod 180.1.....	16
2.3.2. ISO 7027 (DIN/EN 27027).....	16
3. DESIGN OCH TILLÄMPNING.....	17
3.1. Olika slag av mätinstrument	17
3.1.1. Design med en ljusstråle (enkel stråle), Nephelomätaren.....	18
3.1.2. Design som mäter förhållandet mellan olika fotodetektorer (Ratio Design).....	19
3.1.3. Design med fyra reglerade strålar (Modulated four beam design)	21
3.1.4. Design för ytspridning (Surface Scatter Design).....	21
3.1.5. Design för transmitterat ljus (Transmittance Design).....	21
3.2. Typ av turbiditetsmätare.....	22
3.2.1. Stationär turbiditetsmätare	22
3.2.2. Bärbar turbiditetsmätare	23

3.2.3.	Online turbiditetsmätare	24
4.	METOD	25
4.1.	Mätinstrument HACH PORTABLE TURBIDIMETER Modell 2100P IS	26
4.2.	Mätinstrument ABB Turbidity System 7997-201	27
5.	RESULTAT	27
5.1.	Bruksvatten	28
5.2.	Råvatten	32
6.	AVSLUTANDE DISKUSSION	38
6.1.	Resultatanalys	38
6.2.	Sammanfattning.....	39
	Källor	41
	Bilagor	

Förteckning över figurer

Figur 1.	Principen för mätning av turbiditet. (Basic Turbidimeter Design and Concepts, 1999, 11-1).....	12
Figur 2.	Partikelspridning. (Basic Turbidimeter Design and Concepts, 1999, 11-2)	13
Figur 3.	Exempel på komponenter i en turbiditetsmätare. (HACH Company, 2008)	15
Figur 4.	Exempel på komponenter i en nephelomätare. (ABB Data Sheet, 2008)	19
Figur 5.	Fotoelektrisk nephelomätare(design med en ljusstråle). I bilden visas ytterligare valbara detektorer för att bestämma turbiditeten. (Anderson. W, 2005).....	20
Figur 6.	Exempel på komponenter i en transmittansmätare. (ABB Data Sheet, 2008)	22
Figur 7.	Stationär turbiditetsmätare. (Basic Turbidimeter Design and Concepts, 1999, 11-9)	23
Figur 8.	Bärbar turbiditetsmätare av modell 2100P Portable Turbidimeter. 2100P och 2100P IS är till utseende likadana. (HACH Company:s hemsida)	24
Figur 9.	Online system av modell ABB 7997-201. (ABB User Guide, 2008)	25
Figur 10.	Översikt av vattentillförsel samt provtagningsplats 1,2 och 3. (Baserad på ABB Data Sheet, 2008).....	26
Figur 11.	ABB:s SM500F registrerande mätinstrument samt dess uppmätta graf. (ABB SM500F).....	28

Figur 12.	Jämförelse av mätvärdena från de första grumlighetsmätningarna i bruksvatten tagna med ABB online-instrumentet och HACH 2100P IS.	29
Figur 13.	Jämförelse av mätvärdena för turbiditet i bruksvatten tagna med ABB online-instrumentet och HACH 2100P IS efter att instrumenten kalibrerats. Även P2 och P3 jämförs sinsemellan.	30
Figur 14.	Jämförelse av mätvärdena för grumlighet i bruksvatten tagna med ABB online-instrumentet och HACH 2100P IS efter att 2100P IS putsats och glasbehållarna ersatts av nya.	31
Figur 15.	Jämförelse av mätresultaten för turbiditet i bruksvatten erhållna med ABB online-instrumentet och HACH 2100P IS efter att online-instrumentet kalibrerats andra gången.	31
Figur 16.	Slutgiltiga jämförelsen av mätresultaten för grumlighet i bruksvatten som erhållna med ABB online-instrumentet och HACH 2100P IS.	32
Figur 17.	Jämförelse av mätresultaten för turbiditet i råvatten erhållna med ABB online-instrumentet och HACH 2100P IS.	33
Figur 18.	Jämförelse av mätvärdena för grumlighet i råvatten tagna med ABB online-instrumentet och HACH 2100P IS efter att instrumenten kalibrerats.	34
Figur 19.	Jämförelse av mätvärdena för turbiditet i råvatten tagna med ABB online-instrumentet och HACH 2100P IS efter att online-instrumentet kalibrerats andra gången.	34
Figur 20.	Slutgiltiga jämförelsen av mätresultaten för grumlighet i råvatten erhållna med ABB online-instrumentet och HACH 2100P IS.	35
Figur 21.	Jämförelsen av mätresultaten för grumlighet uppmätta under testmätning med ABB online-instrumentet och HACH 2100P IS.	36
Figur 22.	Jämförelsen av mätresultaten för grumlighet uppmätta med ABB online-instrumentet och HACH 2100P IS efter att högre nivåer av turbiditet uppnåtts.	36
Figur 23.	Den procentuella skillnaden i förhållande till mätningarna.	37

Förteckning över tabeller

Tabell 1	Översikt över skillnaderna mellan mätinstrumenten Portable Turbidimeter 2100P IS (HACH) och 7997-201 (ABB). Baserad på HACH Data Sheet, 2007; ABB Data Sheet, 2008).....	10
Tabell 2	Översikt av standarden US EPA metod 180.1.....	16
Tabell 3	Översikt av standarden ISO 7027	17

Förteckning över formler

Ekvation [1] Matematisk algoritm för förhållandedesignen. (Sadar M.J, 2007, 19).....	19
Ekvation [2] Formel för den procentuella skillnaden.....	28

Inledning

Arla-Ingmans mejeri i Sibbo tillverkar mejeriprodukter som bl.a. mjölk och yoghurt. Inom mejeriindustrin används vatten i samband med tillverkning av mejeriprodukter och rengöring av de verktyg och maskiner som används under tillverkningsprocessen. Därför är det viktigt att vattenkvaliteten regelbundet kontrolleras. För att göra grundvattnet rent och brukbart används ett vattenreningsverk. På Arla-Ingmans mejeri i Sibbo är detta reningsverk delvis manuellt styrt vilket kan leda till brister i mätningar, långsamt förfarande och ökad risk för kontaminering. Vattnets renlighet mäts med bl.a. grumlighetsmätare och har tidigare gjorts för hand. I arbetet jämförs två olika system för mätning av grumlighet: det manuella av modell HACH 2100P IS samt online-systemet ABB 7997-201. Jämförelsen utförs på följande parametrar; noggrannhet, konsekvens, driftsäkerhet, kalibrering och rengöring.

Detta arbete utförs på uppdrag av Arla-Ingman i samarbete med Massby Facility & Services och behandlar automatisering av grumlighetsmätning. Isomäki, Valve, Kivimäki och Lahti (2007, bilaga 1 och 4) konstaterar att en kontinuerligt fungerande turbiditetsmätare vid sidan av pH- och restklormätning kan anses vara en av de viktigaste mätarna för uppföljning av vattenreningsprocessens funktion och det behandlade vattnets kvalitet. I fråga om turbiditeten hos vattnet som lämnar ett ytvattenverk bör ett värde som efter behandlingen understiger 1 NTU (Nephelometric Turbidity Units) eftersträvas. Isomäki, Valve, Kivimäki och Lahti (2007, bilaga 1 och 4) redogör dock inte för vilken typ av turbiditetsmätare som krävs eller vilka standarder som bör följas vid mätning av grumlighet. Emellertid betonas vikten som bör fästas vid kalibrering och service av mätinstrumenten.

1. SYFTE OCH MATERIAL

1.1. Syfte

Syftet med detta arbete är att undersöka om mätvärden inhämtade med hjälp av det nya online- systemet ABB 7997-201 korrelerar med mätvärden inhämtade med det gamla systemet HACH Portable Turbidimeter 2100P IS och om mätningen således kunde automatiseras. Mätgenskaperna kommer även att jämföras med varandra och därmed kommer respektive mätarens fördelar samt nackdelar att lyftas fram.

För att garantera att vattnet som tillförs till fabriken är rent ställdes nya krav på systemet som mäter grumlighet. Från att tidigare ha mätt turbiditet manuellt och med tidsintervall på ett dygn strävar man nu till att få ett system som kontinuerligt utför mätningar. Genom att ständigt kunna kontrollera mätvärden, kan man optimera reningsprocessen och därmed minska på energi- och vattenåtgången. Ett sådant system kunde även bidra till att man effektivare kunde upptäcka problem som till exempel brister i reningsfiltrens funktion och därmed förebygga fel orsakade av kontaminering. Eftersom mätningen tidigare gjordes för hand fanns det även större risk för felaktigheter i mätningarna orsakade av mänskliga misstag och slarv. Genom att minimera det mänskliga inflytande på mätprocessen kan man erhålla mer tillförlitliga mätresultat. Vidare kan man undvika fel orsakade av brister i mätinstrumentet. För att garantera att mätinstrumentet fortlöpande uppvisar noggranna resultat krävs regelbunden rengöring och kalibrering. Tidigare har kalibreringen gjorts med hjälp av vätskor av olika turbiditetsvärden, vilket är en besvärlig och komplicerad metod. Användningen av en kalibreringsprisma resulterar i att man slipper användandet av vätskor. I samband med varje kalibrering utförs rengöring av mätinstrumentet. Genom att automatisera rengöringen upprätthålls instrumentets tillförlitlighet och det mänskliga ingripandet minimeras.

Tabell 1 Översikt över skillnaderna mellan mätinstrumenten Portable Turbidimeter 2100P IS (HACH) och 7997-201 (ABB). Baserad på HACH Data Sheet, 2007; ABB Data Sheet, 2008)

	Portable Turbidimeter 2100P IS (HACH)	7997-201 (ABB)
Mätssystem	manuellt	automatiskt
Tidsintervall	1 gång/dygn	kontinuerlig
Metod	transmittans och nephelometric	nephelometric
Kalibrering	vätska (Formazin)	torr prisma
Rengöring	manuell	automatisk/manuell
Resolution	0,01 NTU	0,01 NTU
Noggrannhet	+2 % av mätvärdet	+2 % av mätvärdet

1.2. Material

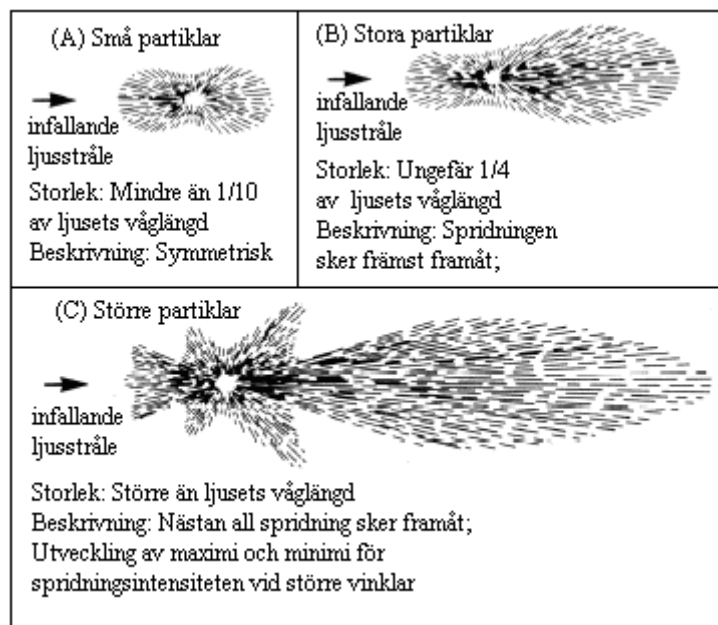
Material till mitt arbete söktes i databaser så som Arken, Haltia, HelMet, Helka, Metcat, Teemu och Tilda. Som sökord använde jag bland annat *sameus*, *sameusmittaus*, *turbidity*, *turbidity measurement*, *turbiditet*, *grumlighet*, *turbiditetsmätning* samt *water quality*. Dessa är alla relaterade till vattenkvalitet och mätning av den. Jag använde mig även av sökmotorn Google och sökorden *nephelometer*, *formazin*, *NTU*, *FTU*, *sameusmittari*, *ISO 7027*, *EPA 180.1* med flera. Dessa är element inom ämnesområdet turbiditet. Eftersom uppgiften även var att hitta ett lämpligt mätsystem som passar för mätning av turbiditet i bruksvatten gjordes en marknadsundersökning.

2. TURBIDITET

Begreppet turbiditet betyder grumlighet i en vätska eller gas. McCoy och Olson har rapporterat (enligt Berggren, 2004, s. 3) att grumligheten orsakas av mikroskopiskt små partiklar i storleksklassen 1nm till 1mm. Berggren (2004, s. 3) refererar Bassi som anser att partiklarna kan vara av organiskt eller oorganiskt ursprung. Cheremisinoff hävdar (enligt Berggren, 2004, s. 3) att turbiditet är ett mått på hur mycket ljuset sprids, reflekteras eller absorberas av partiklarna i vattnet. Grumligheten i en vätska kan uppfattas med blotta ögat men för att noggrannare avgöra vattenkvaliteten används alternativa metoder. En allt vanligare metod för att bestämma vattenkvaliteten är turbiditetsmätning som anses vara ett snabbt och enkelt sätt att mäta och som ger en bra indikation på hur behandlingsprocesserna fungerar. (Berggren, 2004, s. 8)

Anderson (2005) konstaterar att även om det skett framsteg i teknologin inom turbiditetsmätning och olika turbiditetsmätare har producerats, motsvarar resultat från turbiditetsmätare av olika design vanligtvis inte varandra. Vidare påpekar Anderson (2005) att mätningar av olika provsamplers inte nödvändigtvis resulterar i en linjär kurva p.g.a. de olika faktorer som påverkar turbiditetsmätningen. Därför bör man välja turbiditetsmätare i avseende på syfte med projektet, rekommendationer för data samt provsamplers fysiska och kemiska egenskaper.

och utöka verkningsområdet har man installerat fler fotodetektorer och därmed kunnat minska på felaktigheter orsakade av exempelvis lampans instabilitet.



Figur 2. Partikelspridning. (Basic Turbidimeter Design and Concepts, 1999, 11-2)

2.1.2. Ljuskälla

I en turbiditetsmätare består ljuskällan vanligtvis av en volfram glödlampa. Glödlampan kallas mångfärgad eftersom den har ett brett spektralt band som omfattar många olika våglängder av ljus. I Basic Turbidimeter Design and Concepts (1999, 11-2) refereras King som anser att förekomsten av olika våglängder av ljus kan orsaka störningar vid mätning av turbiditet på grund av att organiska partiklar i provsamlet kan absorbera särskilda våglängder ljus och därmed bidra till en minskning i det spridda ljusets intensitet.

Glödlampan är även mycket beroende av matningsspänningen eftersom den avgör lampans spektrala egenskaper. Detta medför att en stadig spänningsförsörjning är en nödvändighet. I och med att lampans ljus med tiden försvagas krävs regelbunden omkalibrering. (Basic Turbidimeter Design and Concepts, 1999, 11-2)

För att reducera glödlampans begränsningar utnyttjar vissa turbiditetsmätare egenskaper hos enfärgade lampor så som LED (Light Emitting Diod), laser samt lampor med filterkombinationer. Till skillnad från glödlampan har enfärgade lampor ett smalt spektralt band och omfattar endast få våglängder av ljus. Genom att välja våglängder

som inte absorberas av partiklar eliminerar man störningar orsakade av partiklarnas färg. Emellertid kan en del av de här alternativa ljuskällorna bidra till en försämring i form av att turbiditetsmätaren inte är lika känslig för storleken av partiklarna. (Basic Turbidimeter Design and Concepts 1999, 11-2)

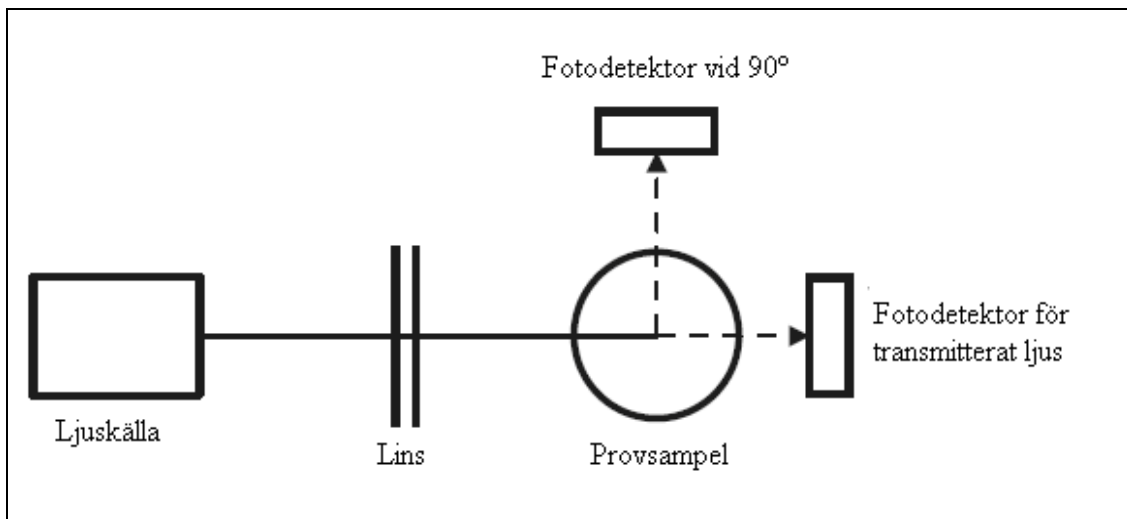
2.1.3. Fotodetektor

Michael J. Sadar konstaterar (enligt Basic Turbidimeter Design and Concepts 1999, 11-3) att fotodetektorer i turbiditetsmätaren upptar ljuset som sprids från partiklarna i provsamlet och konverterar denna elektriska signal till turbiditetsenheter. Designen och modellen på turbiditetsmätaren avgör var dessa detektorer är belägna. Det förekommer olika sorters detektorer varav de fyra vanligaste är tub med fotomultiplikator, vakuumbaserade fotodioder, silikonbaserade fotodioder och kadmium-sulfidbaserad motståndsfotocell.

Hur de fyra olika fotodetektorerna reagerar på ljusets våglängder varierar. Således har val av mångfärgad lampa (volfram) en direkt betydelse för vilken fotodetektor som används för respektive turbiditetsmätare. I fall man använder sig av en enfärgad ljuskälla är valet av fotodetektor inte av lika stor betydelse. (Basic Turbidimeter Design and Concepts 1999, 11-3)

2.1.4. Turbiditetsmätarens funktion

Ett exempel på hur en turbiditetsmätare är uppbyggd beskrivs närmare i figur 3. Ljuskällan som belyser provsamlet i det optiska systemet är vanligtvis en volframlampa. Ljuset fokuseras med hjälp av linser för att sedan upptas av någondera detektorn. Beroende på antalet partiklar i provsamlet kommer en del av ljuset att reflekteras, brytas och absorberas. Mätinstrumentets mikroprocessor räknar därefter ut förhållande mellan de olika detektorerna. Denna proportionsteknik används för att korrigera störningar orsakade av absorption p.g.a. färgvariationer samt lampans ostadighet. Det optiska systemet minskar även på ströljus vilket leder till noggrannare mätresultat. (HACH Company, Portable Turbidimeter, 2008, s. 14)



Figur 3. Exempel på komponenter i en turbiditetsmätare. (HACH Company, 2008)

2.2. Turbiditetsenheter

Turbiditet anges i bl.a. följande enheter:

- FTU (Formazin Turbidity Units). Eftersom de optiska egenskaperna i en vätska beror på bl.a. de kringsvävande partiklarnas storlek, har man fastställt en standard för att underlätta kalibrering och reproducering av mätinstrument. Standardiseringen baserar sig på Formazin, som är ett fast syntetiskt material vars alla partiklar är lika stora.
(Galvanic Applied Science Inc:s hemsida; Optek:s hemsida)
- NTU (Nephelometric Turbidity Units). Denna enhet är specificerad av USEPA (United States Environmental Protection Agency) och är en speciell variant av FTU där endast det spridda ljuset från en volframlampa mäts, vanligtvis i 90° vinkel $\pm 30^\circ$. (EPA method 180.1).
(Lake access:s hemsida)
- FNU (Formazin Nephelometric Units). Även denna enhet är en variant av FTU och skiljer sig genom att lampan i det optiska systemet är en *near infrared light* (NIR) med en våglängd på 860 ± 60 nanometer. Endast det spridda ljuset mäts i $90 \pm 2.5^\circ$ vinkel. Denna enhet är specificerad av ISO 7027 (ISO - International Organization for Standardization.)
(USGS: hemsida)

2.3. Standarder

I ett försök att standardisera designen och därmed uppnå testresultat som är exakta och kan upprepas har standarder för mätinstrument utvecklats. Nedan presenteras de vanligaste standarderna, US EPA metod 180.1 samt ISO 7027.

2.3.1. US EPA metod 180.1.

Krav som den amerikanska organisationen EPA (Environmental Protection Agency) ställer på turbiditetsmätare presenteras i tabell 2 nedan.

Tabell 2 Översikt av standarden US EPA metod 180.1.

Princip för mätning:	Mätning av förhållandet mellan det transmitterade ljuset och det spridda ljuset
Mätvinkel:	90° +-30°
Ljusstrålens dimension:	inte angiven
Våglängden som mäts:	volfram lampans hela ljusspektrum
Kalibreringsstandard:	Formazin

(Galvanic Applied Science Inc:s hemsida)

EPA har fastställt ytterligare en standarddesign vid namn GLI Method 2 (Basic Turbidimeter Design and Concepts 1999, 11-4). Den kräver användande av två ljuskällor men eftersom den inte är aktuell i detta arbete behandlas den inte.

2.3.2. ISO 7027 (DIN/EN 27027)

Den internationella organisationen för standardisering (International Organization for Standardization) ställer striktare krav än EPA på turbiditetsmätarens ljuskälla i ett försök att skapa mätinstrument med bättre upprepningsförmåga och som kan jämföras med andra mätinstrument. Krav som ISO ställer på turbiditetsmätare presenteras i tabell 3 nedan.

Tabell 3 Översikt av standarden ISO 7027

Turbiditetshalter lägre än 40 FNU (NTU)	
Princip för mätning:	Mätning av förhållandet mellan det transmitterade ljuset och det spridda ljuset
Mätvinkel:	90° +-2,5°
Ljusstrålens dimension:	0° med en sammanstrålning på max 1,5°
Våglängden som mäts:	860nm +-30nm
Kalibreringsstandard:	Formazin

(Galvanic Applied Science Inc:s hemsida)

ISO kräver användning av enfärgade ljuskällor såsom volframlampa med ljusfilter, LED eller laser. Emellertid godkänner standarden användandet av äldre turbiditetsmätare, som fortfarande fungerar med mångfärgad ljuskälla, men inte i syfte att sinsemellan jämföra mätresultat med andra instruments mätresultat. Även om den striktare standarden eliminerar avvikelser i samband med mångfärgade ljuskällor, elimineras inte störningar orsakade av tillexempel lampans förfall. ISO 7027 är inte godkänt av EPA i enlighet med IESWTR - Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule. (Galvanic Applied Science Inc:s hemsida; Basic Turbidimeter Design and Concepts 1999, 11-4)

3. DESIGN OCH TILLÄMPNING

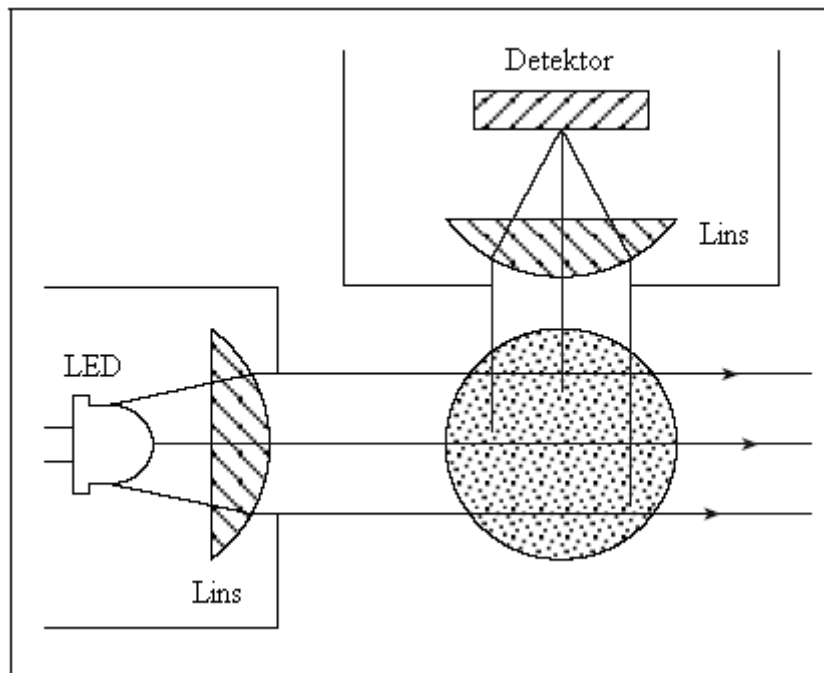
3.1. Olika slag av mätinstrument

Nedan presenteras olika slag av mätinstrument som används vid turbiditetsmätningar. Eftersom grumligheten främst kommer att mätas i bruksvatten var turbiditeten är under 1 NTU, presenteras endast de instrumentdesigner som är relevanta för syftet med detta arbete.

3.1.1. Design med en ljusstråle (enkel stråle), Nephelomätaren

En variant av turbiditetsmätare är nephelomätaren. Nephelomätaren är ett instrument som används för att mäta svävande partiklar i en vätska eller gas och är avbildad i figur 4. Nephelomätaren har egenskapen att endast mäta det spridda ljuset. Enligt Sadar J. (Turbidity Science, 2007, s. 7-10) görs det enligt följande princip; först belyses provsamlet med en ljusstråle, vanligtvis från en volframlampa, varefter det spridda ljuset tas upp av en fotodetektor som är placerad vid ena sidan av källstrålen, vanligtvis i 90° vinkel. Partikeldensiteten avgörs därefter av hur mycket ljus sprids från partiklarna till detektorn. I viss utsträckning påverkar partiklarnas egenskaper, såsom form, färg och reflektionsförmåga, hur mycket ljus som sprids. Därför måste det i varje enskilt fall fastställas ett fungerande samband mellan turbiditet och de svävande partiklarna. Denna typ av turbiditetsmätare passar bäst för turbidetsvärden under 40 NTU och där provsamlet har lite eller ingen färg. Eftersom behandlat vatten har lite eller ingen färg, är användningen av designen med en ljusstråle passande (Basic Turbidimeter Design and Concepts 1999, 11-5).

I fall turbiditeten är högre än 40 NTU kan det uppstå kedjespridning, vilket beror på att ljuset träffar fler än en partikel i provsamlet. Det här kan bidra till att intensiteten av det spridda ljuset, som träffar fotodetektorn vid 90 grader, avtar och gör att turbiditetsmätaren inte längre fungerar korrekt. Den mest väsentliga skillnaden mellan en nephelomätare och en turbiditetsmätare är att den saknar detektorn för transmitterat ljus och kan därför inte mäta förtunning eller absorption i ett provsmpel. (Basic Turbidimeter Design and Concepts 1999, 11-5)



Figur 4. Exempel på komponenter i en nephelomätare. (ABB Data Sheet, 2008)

3.1.2. Design som mäter förhållandet mellan olika fotodetektorer (Ratio Design)

Turbiditetsmätaren vilken använder sig av design som mäter förhållandet mellan olika fotodetektorer, hädanefter kallad förhållandedesign, bygger på samma princip som designen med en ljusstråle, men inkluderar ytterligare fotodetektorer placerade i andra vinklar än 90 grader i förhållande till den infallande ljusstrålen. I figur 5 avbildas dessa detektorer; detektor för ljus som sprids framåt, detektor för transmitterat ljus, och i vissa fall en detektor för ljus som reflekteras bakåt. Signalerna från var och en av detektorerna sammansätts matematiskt för att ange turbiditeten av provsamplet. Den matematiska algoritmen är följande:

Ekvation [1] Matematisk algoritm för förhållandedesignen. (Sadar M.J, 2007, 19)

$$T = I_{90} / (d_0 * I_t + d_1 * I_{fs} + d_2 * I_{bs} + d_3 * I_{90})$$

Där

T = Turbiditet angivet i NTU

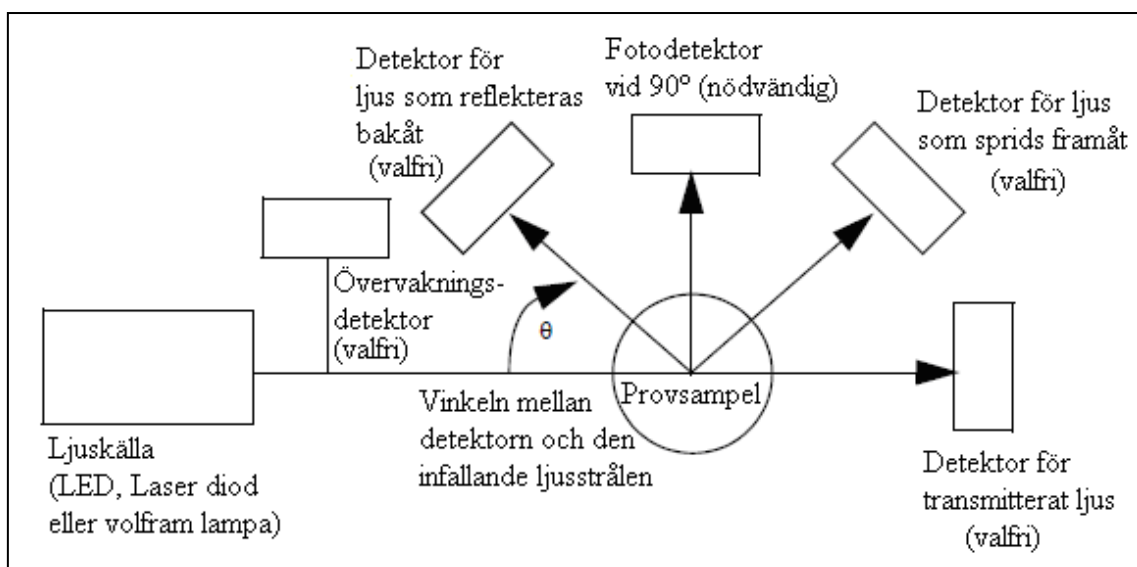
d_0, d_1, d_2, d_3 = koefficienter för kalibrering

I_{90} = Strömsignalen från detektorn vid 90 grader

I_t = Strömsignalen från detektorn som mäter transmitterat ljus

I_{fs} = Strömsignalen från detektorn som mäter ljuset som sprids framåt

I_{bs} = Strömsignalen från detektorn som mäter ljuset som reflekteras bakåt



Figur 5. Fotoelektrisk nephelomätare (design med en ljusstråle). I bilden visas ytterligare valbara detektorer för att bestämma turbiditeten. (Anderson, W, 2005)

Genom att använda flera fotodetektorer och den matematiska algoritmen förbättrar man mätinstrumentets prestanda när det gäller provsampel som innehåller färg. Ljuset som sprids i 90° vinkel samt ljuset som går igenom provsamplet påverkas så gott som lika mycket av färgen i provsamplet på grund av att ljuset rör sig nästan lika långt genom vätskan. När förhållande mellan dessa två mätvärden erhålls kommer inverkan av färgabsorptionen i de flesta fall att upphävas. (Basic Turbidimeter Design and Concepts, 1999, 11-6)

3.1.3. Design med fyra reglerade strålar (Modulated four beam design)

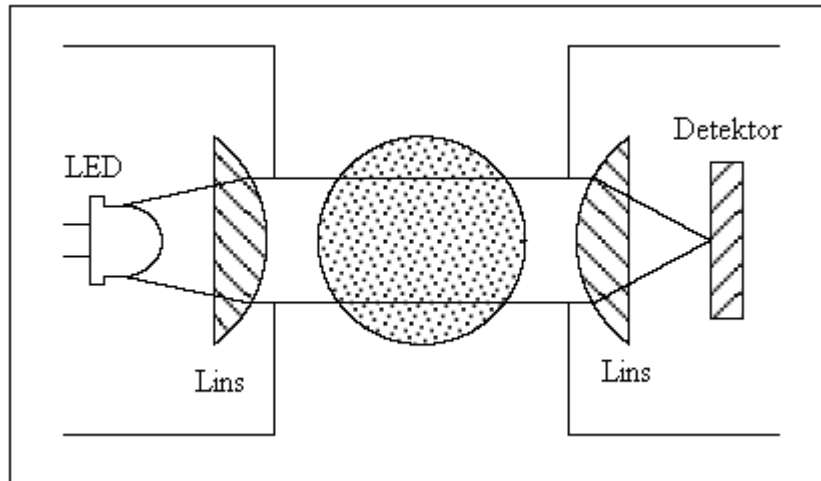
Denna design består i grund och botten två stycken nephleomätare kombinerade i en och samma turbiditetsmätare. Det resulterar i två stycken ljuskällor samt två fotodetektorer vars funktion är att bestämma förhållandet mellan mätvärden och därmed eliminera felaktigheter. Den här designen presenteras inte noggrannare eftersom den inte har direkt relevans för syftet. (Basic Turbidimeter Design and Concepts, 1999, 11-7)

3.1.4. Design för ytspridning (Surface Scatter Design)

Funktionsprincipen för den här modellen är att den mäter intensiteten av det spridda ljuset från ytan av provsamlet och kan därmed mäta höga turbiditetshalter. Denna design lämpar sig bäst för mätning av hög turbiditet på en skala mellan 0-9999 NTU men eftersom syftets fokus är på låga turbiditetshalter presenteras inte denna design mer utförligt i detta arbete. (Basic Turbidimeter Design and Concepts, 1999, 11-7)

3.1.5. Design för transmitterat ljus (Transmittance Design)

Mätinstrument som använder sig av metoden var det transmitterade ljuset mäts kallas ofta för turbiditetsmätare, men de anger i själva verket inte korrekta värden på turbiditet i NTU. Dessa instrument har termen "absorptionsmätare" eftersom de mäter mängden ljus som går igenom provsamlet istället för det spridda ljuset från samplet. Värdet på transmittans fås av förhållandet mellan det infallande ljuset och det ljus som träffar detektorn på andra sidan provsamlet och anges i procentenheter. Användandet av enbart transmittansmätning har begränsats till övervakning av filterfunktioner, men genom att kombinera denna metod med andra mätmetoder når man nya dimensioner inom turbiditetsmätning. (Basic Turbidimeter Design and Concepts, 1999, 11-8)



Figur 6. Exempel på komponenter i en transmittansmätare. (ABB Data Sheet, 2008)

3.2. Typ av turbiditetsmätare

I dagens läge förekommer det tre olika typer av turbiditetsmätare och dessa kallas för stationära, bärbara och online mätinstrument. För att analysera små stickprov används stationära och bärbara turbiditetsmätare. Däremot är online turbiditetsmätaren vanligtvis direkt ansluten till vattenröret och används för att ge fortlöpande analyser av vattensampel direkt ur processen. Användande av dessa apparater kräver att man noggrant följer tillverkarnas anvisningar för att minska på felaktigheter orsakade av smutsigt glas, luftbubblor i provsamplet samt partiklarnas benägenhet att sjunka till botten. (Basic Turbidimeter Design and Concepts, 1999, 11-8)

3.2.1. Stationär turbiditetsmätare

Den stationära turbiditetsmätaren används inom ett brett område beträffande turbiditet och kan mäta såväl färgade sampel som sampel med även hög turbiditet. De vanligaste stationära turbiditetsmätarna använder sig av förhållandedesignen men har egenskapen att kunna stänga av förhållandekalkyleringen och därmed fungera enligt modellen med en ljusstråle. Den stationära turbiditetsmätaren används enbart för stickprov och fordrar behållare av glas för själva vattenprovet. (Basic Turbidimeter Design and Concepts, 1999, 11-9)



Figur 7. Stationär turbiditetsmätare. (Basic Turbidimeter Design and Concepts, 1999, 11-9)

3.2.2. Bärbar turbiditetsmätare

Den bärbara turbiditetsmätaren liknar den stationära turbiditetsmätaren, förutom att den är batteridrivna och avsedd för att flyttas omkring. Den här modellen förekommer i en mängd olika typer inkluderat designen med en ljusstråle och förhållandedesignen. Även denna typ av turbiditetsmätare kräver användandet av glasbehållare för provsamplerna men är byggd för att uthärda olika förhållanden på fältet. Emellertid lämpar sig inte den bärbara turbiditetsmätaren för att övervaka en fortlöpande process vilket den stationära turbiditetsmätaren och online mätaren klarar av. Den bärbara turbiditetsmätarens främsta egenskap är att den är flyttbar vilket underlättar mätning på avlägsna platser och minskar på felaktigheter i samplar orsakade av transport. (Basic Turbidimeter Design and Concepts, 1999, 11-9)



Figur 8. Bärbar turbiditetsmätare av modell 2100P Portable Turbidimeter. 2100P och 2100P IS är till utseende likadana. (HACH Company:s hemsida)

3.2.3. Online turbiditetsmätare

Online turbiditetsmätaren, vars främsta verksamhetsområde är vattenbehandlingsanläggningar, använder för det mesta modellen med en ljusstråle eller fyra reglerade strålar. Andra varianter av online turbiditetsmätaren förekommer också men är inte relevant i detta arbete eftersom dessa uppvisar en annan design.

Uppbyggnaden av online instrument varierar sinsemellan beroende på modell, tillverkare och ändamål. I en del modeller är ljuskällan belägen vid övre delen av sampelbehållaren (kammaren) till skillnad från andra modeller där den är belägen vid ena sidan av behållaren. Ljuskällan och detektorerna är vanligtvis åtskilda från sampelbehållaren med hjälp av glasfönster. Den gemensamma faktorn är dock att det krävs regelbunden rengöring av dessa glas för att hindra nedsmutsning, som kan orsaka fel vid mätningen av turbiditet.

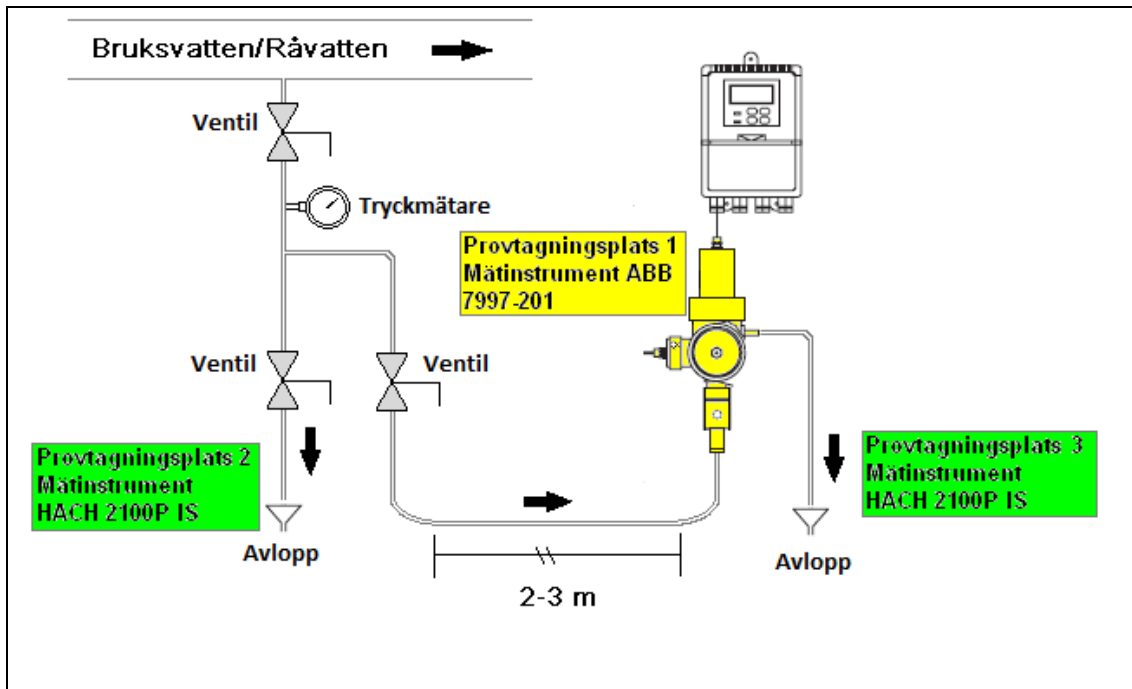
För att eliminera fel orsakade av bubblor i provsamlet används bubbelavvisare eller bubbelfällor. Denna apparatur kan antingen vara färdigt inbyggd i instrumentet men i andra fall kan den installeras i efterhand. Bubbelfällor består av en kammare, belägen före sampelbehållaren, där bubblor har en chans att flyta upp till ytan och därmed minska deras inverkan på mätresultatet. (Basic Turbidimeter Design and Concepts, 1999, 11-10)



Figur 9. Online system av modell ABB 7997-201. (ABB User Guide, 2008)

4. METOD

I figur 10 beskrivs hur vattentillförseln till mätinstrumentet sker. Vattenprov har tidigare tagits från provtagningsplats 2. I detta arbete ingick att ansluta det nya online-systemet till bruksvattenröret men även att bevara den ursprungliga provtagningsplatsen. Installationen gjordes enligt följande: först inmonterades en ventil för att reglera vattentillförseln. En analog tryckmätare applicerades för att kontrollera att trycket inte överstiger det tillåtna värdet för online-instrumentet (se bilaga 2). Mellan mätinstrumentet och tryckmätaren applicerades en två meter lång vattenledning, till vilken en ventil installerades för att i samband med service och underhåll av instrumentet kunna reglera vattentillförseln. Systemet för vattentillförsel åtskiljdes så att den gamla provtagningsplatsen (provtagningsplats 2) bevarades jämsides med den nya, provtagningsplats 3. Vatten ur båda provtagningsplatserna tappades i avloppet. För att få mer djup i analyserna beslöts att ansluta ett identiskt mätsystem till råvattenröret och därmed pröva hur instrumentet fungerar för högre turbiditetsvärden på över 4 NTU.



Figur 10. Översikt av vattentillförsel samt provtagningsplats 1,2 och 3. (Baserad på ABB Data Sheet, 2008)

4.1. Mätinstrument HACH PORTABLE TURBIDIMETER Modell 2100P IS

För tillfället görs den manuella turbiditetsmätningen med hjälp av en bärbar turbiditetsmätare av modell 2100P IS.

Funktionsprincipen för denna turbiditetsmätare är närmare beskriven i kapitel 2.2 och vilken typ av turbiditetsmätare det är frågan om framkommer i kapitel 2.6.2. Teknisk information om mätaren finns i bilaga 1 och den är avbildad i figur 8.

Mätproceduren sker enligt följande: först tas vattensampel i vattenbehållare av storleken 15ml. Därefter torkas behållaren noggrant för att avlägsna fingeravtryck och smuts. Efter detta appliceras ett tunt lager silikonolja på behållaren för att dölja mindre skrår och brister som kan orsaka fel vid mätningen. För att mätresultatet skall vara så exakt som möjligt föredras att man mäter så snabbt som möjligt efter att provsamplet tagits. Om det går för lång tid mellan att provsamplet tagits och att själva mätningen görs, kan det leda till att mätresultatet inte är exakt. Tyngre partiklar hinner sjunka till botten, vätskan hinner förtunnas och temperaturen förändras, vilket kan orsaka fel i mätresultaten. Efter att behållaren är inoljad placeras den i mätinstrumentets

mätutrymme och locket tillsluts. Det är av stor vikt att utrymmet hålls fritt från damm och andra föroreningar för att inte orsaka felaktigheter i mätresultaten. (HACH Company ,2008, 2.2.1)

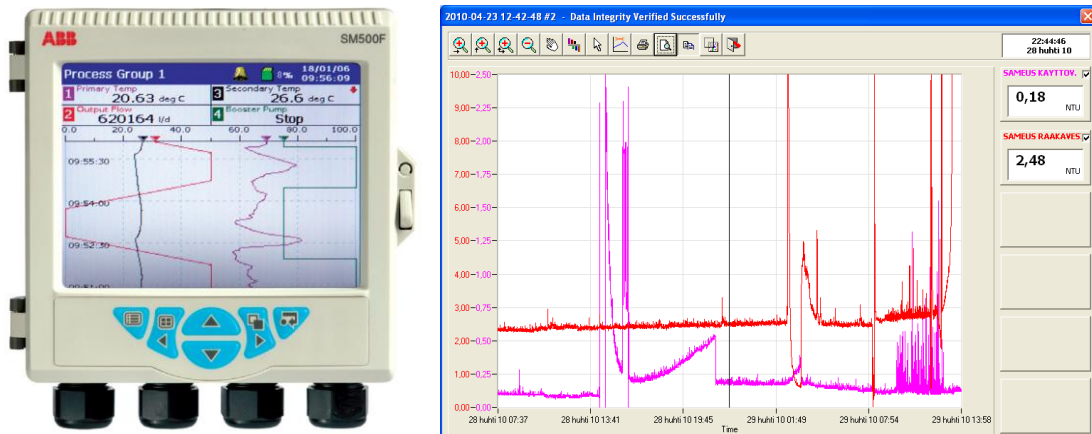
4.2. Mätinstrument ABB Turbidity System 7997-201

Den nya turbiditetsmätaren är ett online instrument av modell 7997-201 och dess funktionsprincip är närmare beskriven i kapitel 2.5.1. Teknisk information finns i bilaga 2 och systemet är avbildat i figur 9.

Online turbiditetsmätaren är direkt ihopkopplad med behandlingsprocessen. Vattnet som mäts strömmar igenom mätinstrumentet och därefter fortsätter det, antingen tillbaka till reningsprocessen eller så tappas det i avloppet. Till online-systemet kan även anslutas ett kontrollsystem vars funktion är att uppta och spara de uppmätta data. Detta system kan också användas för att automatisera olika behandlingsfunktioner (som till exempel öppna och stänga ventiler) baserat på mätvärden. Även om ingen bubbelavvisare är installerad i vattentillförselsystemet finns det ett annat alternativ. ABB:s online system har funktionen ”bubble rej. period” tillgänglig på instrumentdisplayen vilket gör det möjligt att eliminera toppvärden som orsakas av bubblor. Dessa värden rensas bort genom att mätinstrumentet mäter ett bestämt antal värden och ger därefter ett medeltal.

5. RESULTAT

Nedan presenteras resultatet från datainsamlingen. För att kunna följa upp mätvärden från både bruksvatten- och råvattensystemet ihopkopplades instrumenten med ABB:s SM500F registrerande mätinstrument. Denna apparatur är avbildad i figur 11 och har funktionen att kunna lagra all uppmätt data för att senare kunna analyseras och framställas grafiskt.



Figur 11. ABB:s SM500F registrerande mätinstrument samt dess uppmätta graf. (ABB SM500F)

Mätvärdena finns sammanställda i tabeller i bilaga 3. I tabellerna redogörs också den procentuella skillnaden mellan mätvärdena från de två mätinstrumenten. Skillnaden är uträknad enligt följande formel:

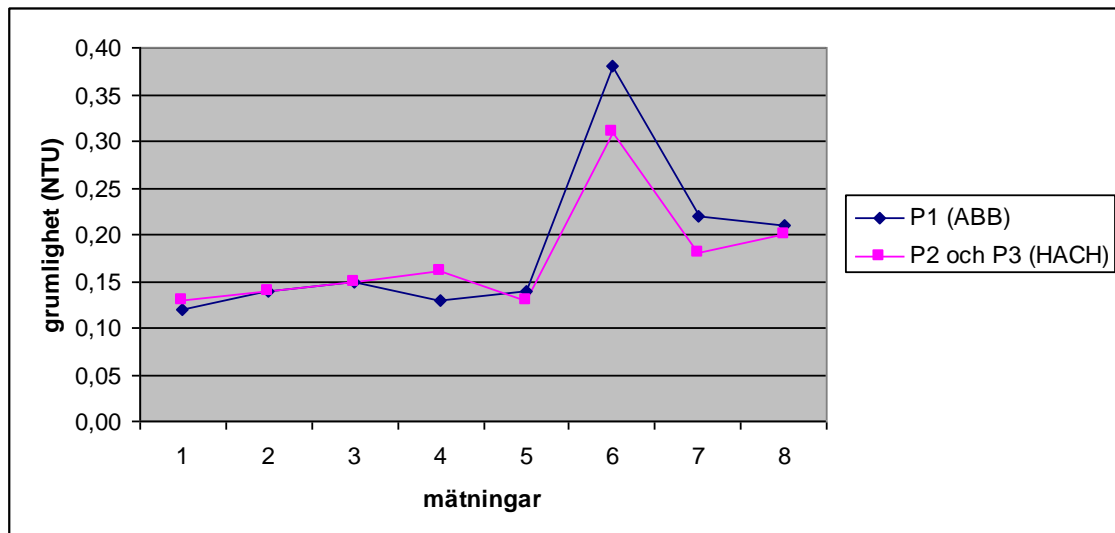
Ekvation [2] Formel för den procentuella skillnaden

$$\text{skillnad (\%)} = \left(\frac{(\text{mätvärden}(2100P) - \text{mätvärden}(ABB))}{\text{mätvärden}(2100P)} \right) * 100, \text{ d.v.s. i avseende på}$$

2100P IS eftersom den fortfarande används och anses visa korrekta värden.

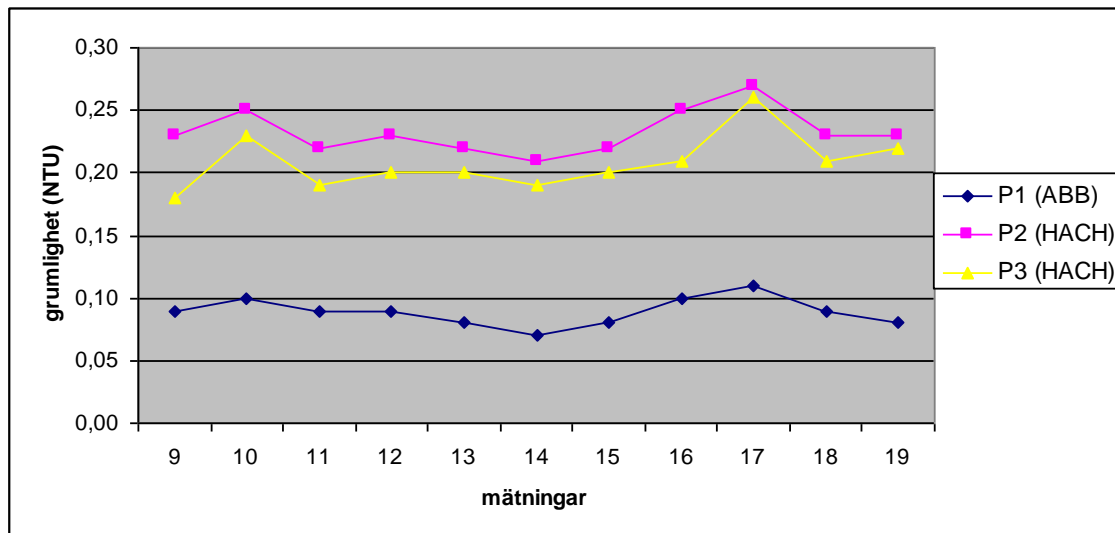
5.1. Bruksvatten

I inledningsfasen av mätningarna för grumligheten i bruksvatten gjordes ingen kalibrering av den bärbara turbiditetsmätaren 2100P IS eftersom den antogs vara kalibrerad samt visade korrekta värden. Även ABB systemet lämnades okalibrerat eftersom kalibreringen utförts två veckor tidigare. Mätvärdena är avbildade i figur 12 nedan.



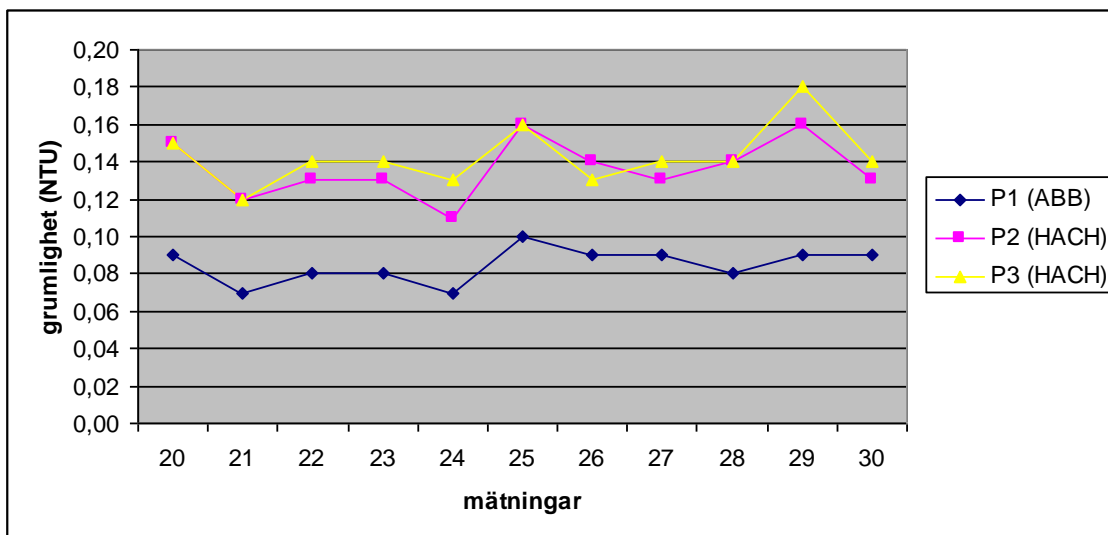
Figur 12. Jämförelse av mätvärdena från de första grumlighetsmätningarna i bruksvatten tagna med ABB online-instrumentet och HACH 2100P IS.

Ur figur 12 påvisas det att skillnader förekommer mellan mätvärden från P1 och P2 & P3. På grund av detta beslöts att också göra mätningar där P2 och P3 jämfördes sinsemellan, för att på det sättet kunna få en bredare bild av vad skillnaden kan bero på. Även större kast i mätvärden för P1 förekommer vilket kan bero på bubblor i vattnet. Eftersom det inte fanns en bubbelavvisare installerad i vattentillförselsystemet, kunde enbart online-systemets inställningar på instrumentdisplayen användas. Genom att ändra på "bubble rej. period" från 2 till 20 mäter instrumentet 20 värden och ger ett medelvärde på dessa. Denna funktion borde resultera i att mätvärden är mer konstanta. Innan följande mätningar gjordes, kalibrerades både online-systemet och 2100P IS på nytt. Mätvärdena är avbildade i figur 13 nedan.



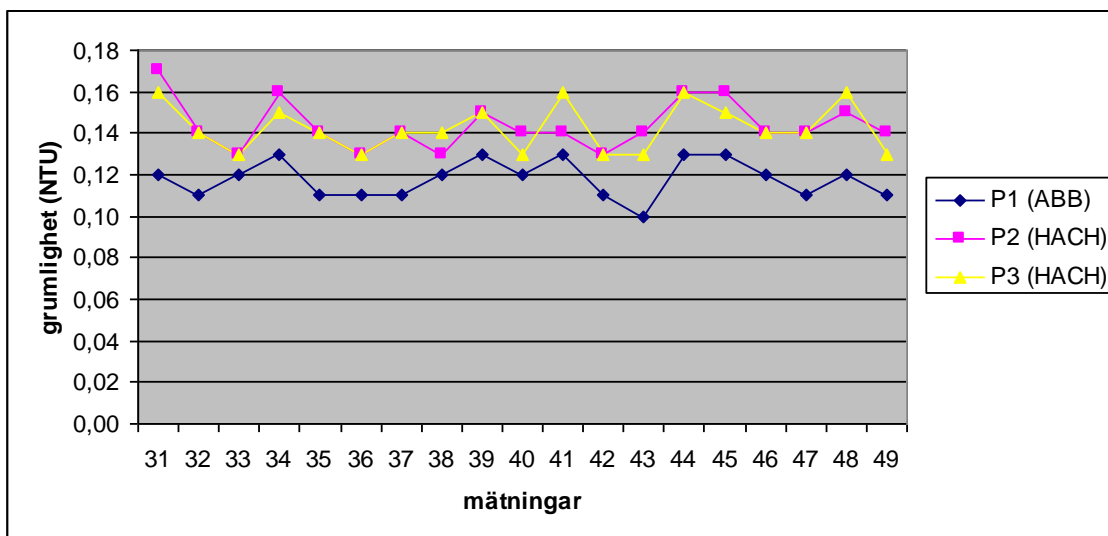
Figur 13. Jämförelse av mätvärdena för turbiditet i bruksvatten tagna med ABB online-instrumentet och HACH 2100P IS efter att instrumenten kalibrerats. Även P2 och P3 jämförs sinsemellan.

I figur 13 kan dock fortfarande ses en tydlig skillnad mellan P2 och P3. Dessutom förekommer det ett stort kast mellan resultat uppmätta med online-systemet och 2100P IS. Misstankar om att bubblor uppstått i förgreningen mellan P2 och P3 väcktes. För att undersöka problemet jämfördes mätvärden från P2 och P3 sinsemellan. Vid kontrolltest visade det sig att glasbehållarna uppgav olika resultat även om de innehöll vätska med samma turbiditetsvärde. Denna variation kan bero på ett antal orsaker såsom smuts på glasbehållaren, smuts i mätinstrumentet samt slarv vid mätningen. Vattenbehållarna till 2100P IS byttes ut och turbiditetsmätaren rengjordes och kalibrerades på nytt. En noggrannare rengöring hade förutsatt att instrumentet skickas till HACH Company för rengöring, vilket inte var möjligt i detta fall. Efter att mätaren rengjorts och kalibrerats gjordes nya mätningar. Mätvärdena är avbildade i figur 14 nedan.



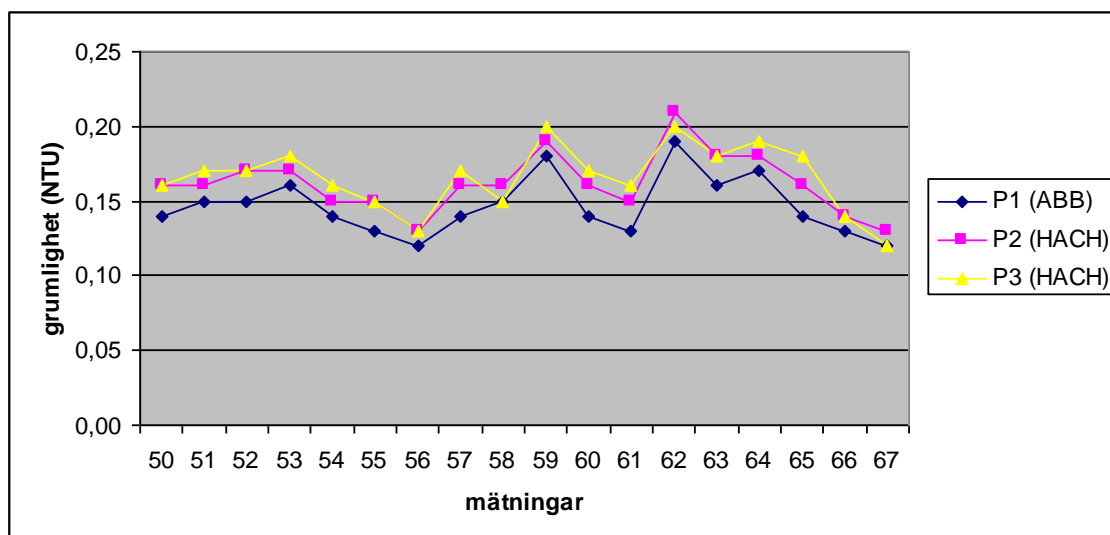
Figur 14. Jämförelse av mätvärdena för grumlighet i bruksvatten tagna med ABB online-instrumentet och HACH 2100P IS efter att 2100P IS putsats och glasbehållarna ersatts av nya.

Som framgår ur figur 14 visar inte resultaten uppmätta vid P2 och P3 längre någon väsentlig skillnad. Vidare kan konstateras att mätvärden har sjunkit i förhållande till P1. ABB:s online instrumentet rengjordes en gång till och samtidigt kalibrerades det på nytt. Detta gjorde att skillnaden mellan resultat uppmätta med det gamla systemet och det nya online-systemet minskade. Mätvärdena är avbildade i figur 15 nedan.



Figur 15. Jämförelse av mätresultaten för turbiditet i bruksvatten erhållna med ABB online-instrumentet och HACH 2100P IS efter att online- instrumentet kalibrerats andra gången.

Skillnaden avtog ytterligare och allt jämnare och stabilare resultat uppmättes vilket framgår i figur 15. Men skillnaden mellan de båda mätsystemen var fortfarande aningen för hög. Därefter ändrades ”bubble rej. period” på online-instrumentet till det ursprungliga värdet 2 eftersom misstankar om bubblor i systemet uteslutits på grund av att P1 uppvisade konsekventa värden. Mätvärdena är avbildade i figur 16 nedan.



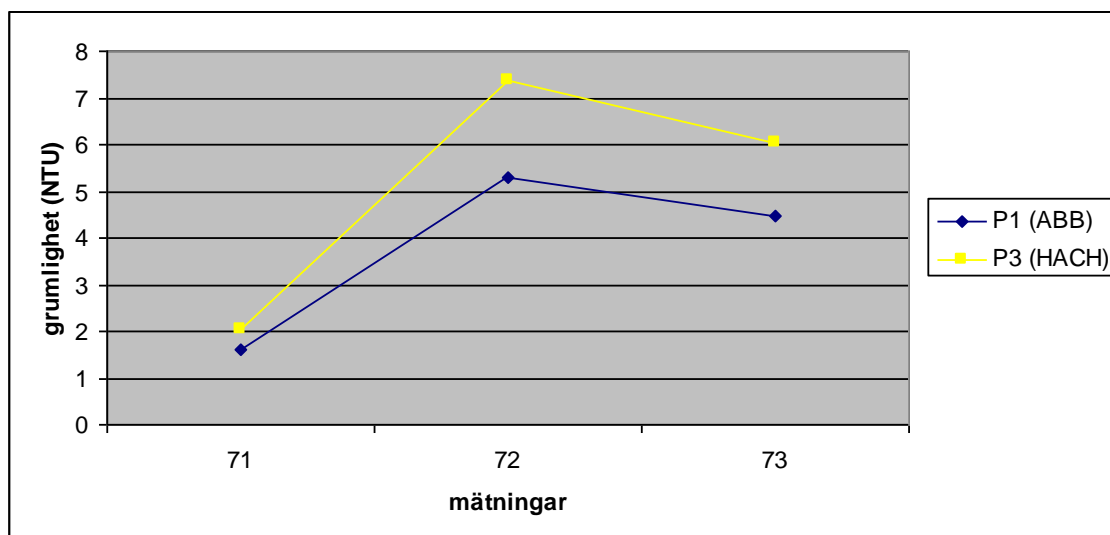
Figur 16. Slutgiltiga jämförelsen av mätresultaten för grumlighet i bruksvatten som erhållna med ABB online-instrumentet och HACH 2100P IS.

På basen av de uppmätta värden som framgår i figur 16 kan konstateras att en skillnad förekommer. Skillnaden angiven i turbiditet motsvarar ca 0,01-0,03 NTU vilket är en nästan obetydlig avvikelse.

5.2. Råvatten

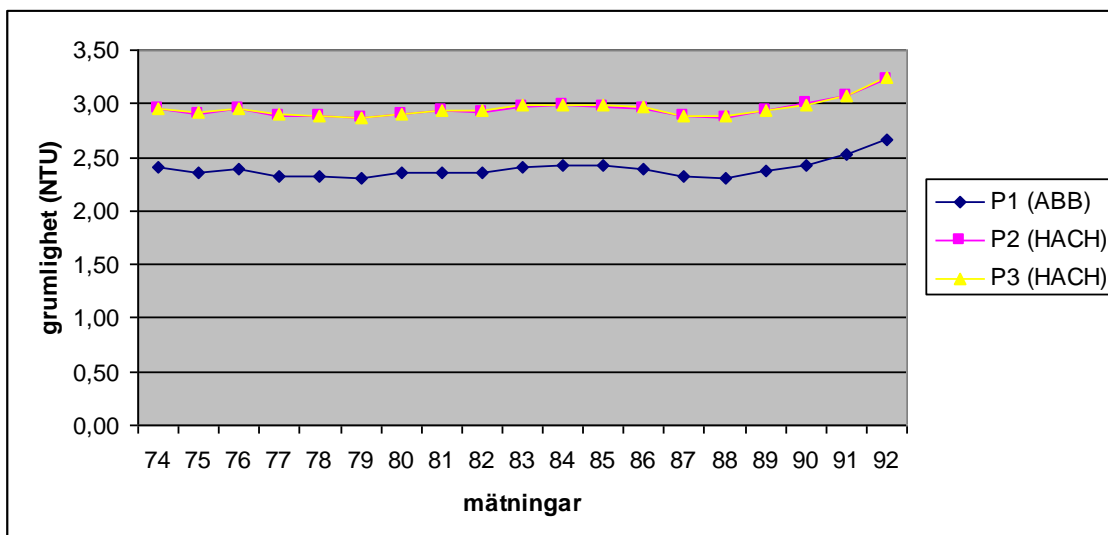
Så som nämndes i kapitel 5 installerades ett identiskt system till råvattenröret. För att kunna göra en mer omfattande analys började även turbiditeten i råvatten mätas eftersom grumligheten där är mellan 2-4 NTU. Mätningarna för råvatten inleddes efter att ca 10 stycken mätningar för bruksvattnet gjorts och det hade konstaterats att det förekommer skillnader mellan online-systemet och 2100P IS. Eftersom undersökningen fokuserade mest på bruksvattnets grumlighet blev de första mätningarna för råvatten få till antalet.

ABB:s mätinstrument kalibrerades efter att det installerats på fältet. Även inställningen ”bubble rej. period” ändrades till 20. Mätresultaten som erhöles innan 2100P IS kalibrerades och glasbehållarna byttes ut är avbildade i figur 17 nedan.



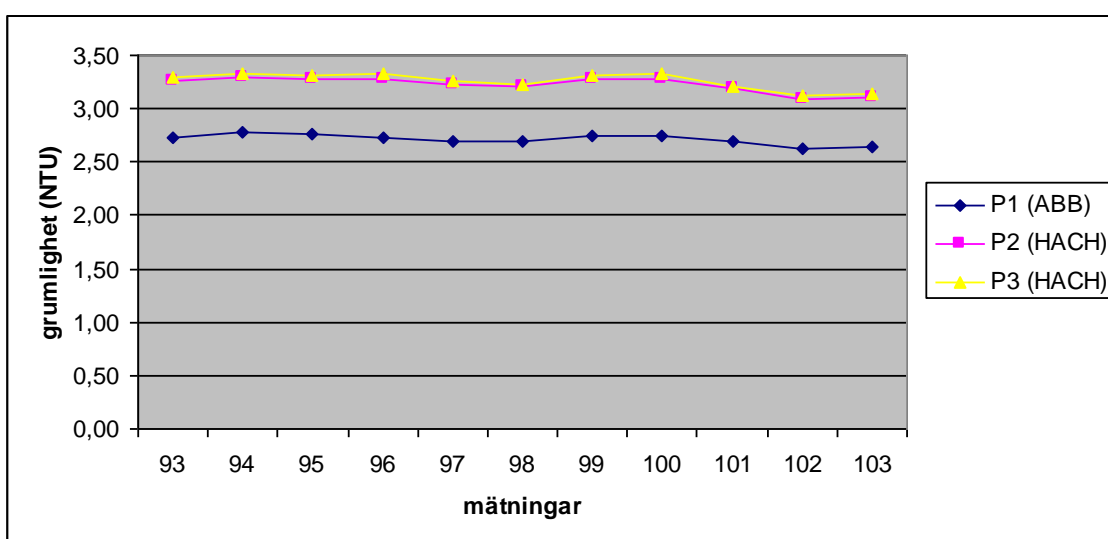
Figur 17. Jämförelse av mätresultaten för turbiditet i råvatten erhållna med ABB online-instrumentet och HACH 2100P IS.

Ur figur 17 framgår att mätvärdena är enbart hämtade från P1 och P3 och dessutom gjordes enbart tre mätningar, vilket kan anses vara otillräckligt. Eftersom skillnaden i mätresultaten redan i det här skedet var hög beslöts att inte utföra fler mätningar med dessa inställningar. Skillnaden kunde konstateras öka i samband med att turbiditeten steg. Efter att kalibreringen utförts för både ABB:s mätinstrument och 2100P IS samt att glasbehållarna bytts ut, uppmättes mätvärdena som är avbildade i figur 18 nedan.



Figur 18. Jämförelse av mätvärdena för grumlighet i råvatten tagna med ABB online-instrumentet och HACH 2100P IS efter att instrumenten kalibrerats.

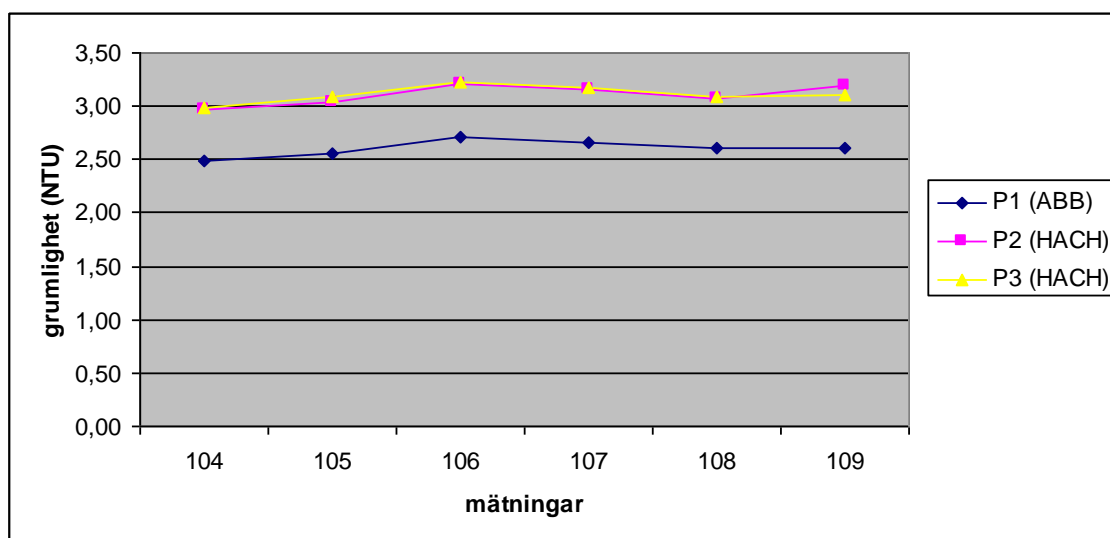
Ur figur 18 framgår att en viss skillnad förekommer. Online-instrumentet kalibrerades på nytt och efter kalibreringen erhöles mätvärdena som är avbildade i figur 19 nedan:



Figur 19. Jämförelse av mätvärdena för turbiditet i råvatten tagna med ABB online-instrumentet och HACH 2100P IS efter att online-instrumentet kalibrerats andra gången.

Skillnaden mellan P1 och P2 & P3 minskade en aning vilket framgår av figur 19. För att ytterligare förbättra mätresultaten ändrades "bubble rej. period" tillbaka till 2, eftersom

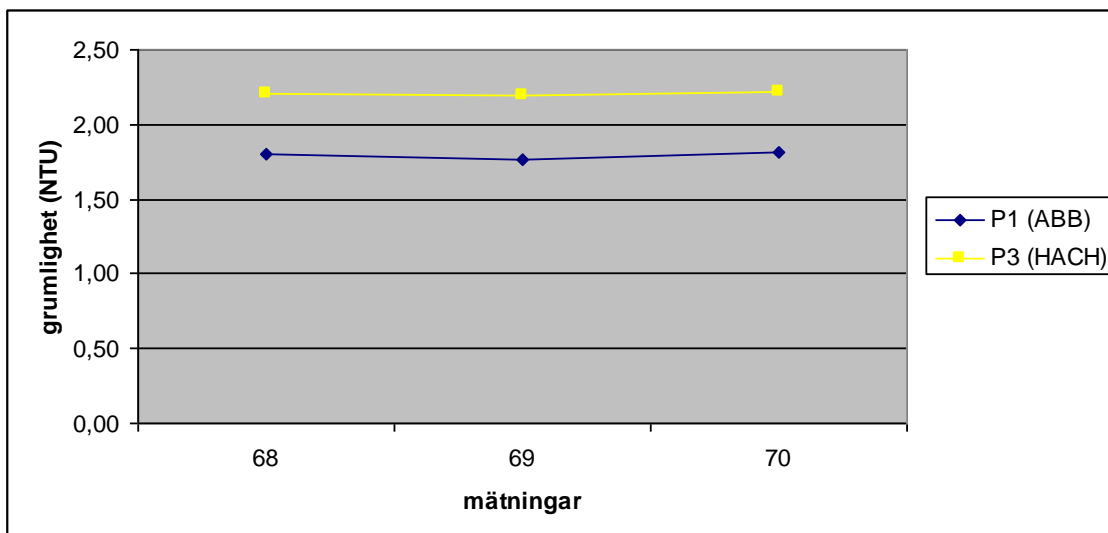
det visade sig fungera för bruksvattenmätningarna. Några stickprov gjordes och mätvärdena som erhöles är avbildade i figur 20 nedan.



Figur 20. Slutgiltiga jämförelsen av mätresultaten för grumlighet i råvatten erhållna med ABB online-instrumentet och HACH 2100P IS.

I figur 20 framgår det att ingen större förändring har skett i jämförelse med resultaten i figur 19.

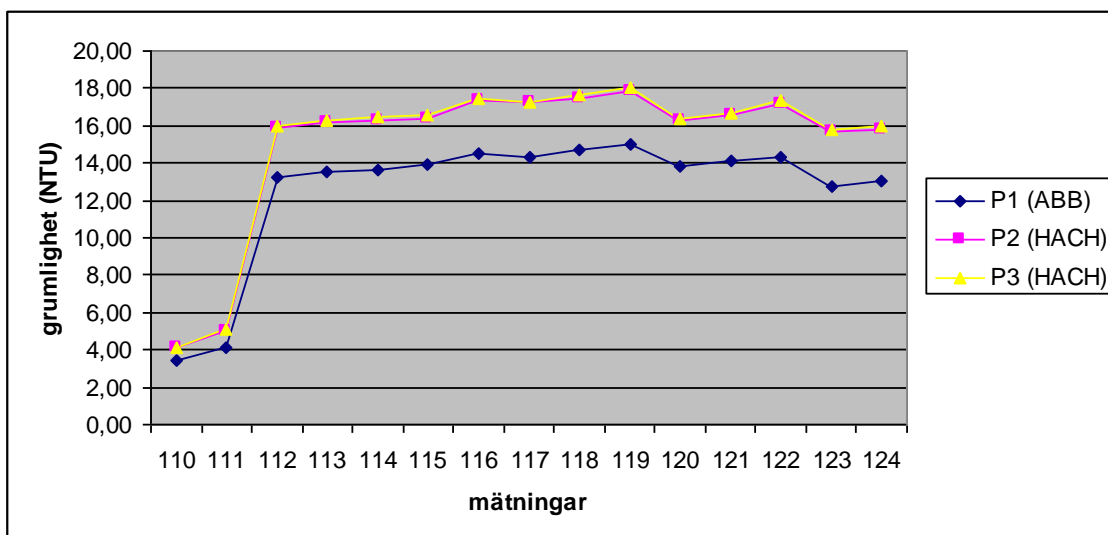
Variationen av mätresultaten som erhållits med den bärbara mätaren från både bruksvatten och råvatten låg mellan 0,0-0,3 NTU och 2,5-3,5 NTU. Skillnaden mellan online-systemet och det gamla systemet visade sig vara förhållandevis konstant och för att kunna bestämma var felet låg och hur stort det var beslöts att utföra fler mätningar, men med annan grumlighetshalt. En blandning av bruksvatten och råvatten gjordes för att få en vätska vars turbiditet låg mellan 0,3 och 3,5 NTU. Genom att mäta turbiditeten i den blandade vätskan med den bärbara mätaren 2100P IS kunde det fastslås att den var ungefär 2,20 NTU. I idealfall skulle en vattenpump ha installerats mellan vattenkärlet och online-mätaren för att få ett konstant flöde, men på grund av resursbrist hölldes istället vatten från en vattenkanna ner i online-instrumentets sampelbehållare. Mätresultaten som uppmättes är avbildade i figur 21 nedan.



Figur 21. Jämförelsen av mätresultaten för grumlighet uppmätta under testmätning med ABB online-instrumentet och HACH 2100P IS.

Ur figur 13 påvisas att resultaten från båda mätinstrumenten visade en liknande skillnad som framgår i figur 20, vilket tyder på att mätresultaten uppvisar en konstant variation.

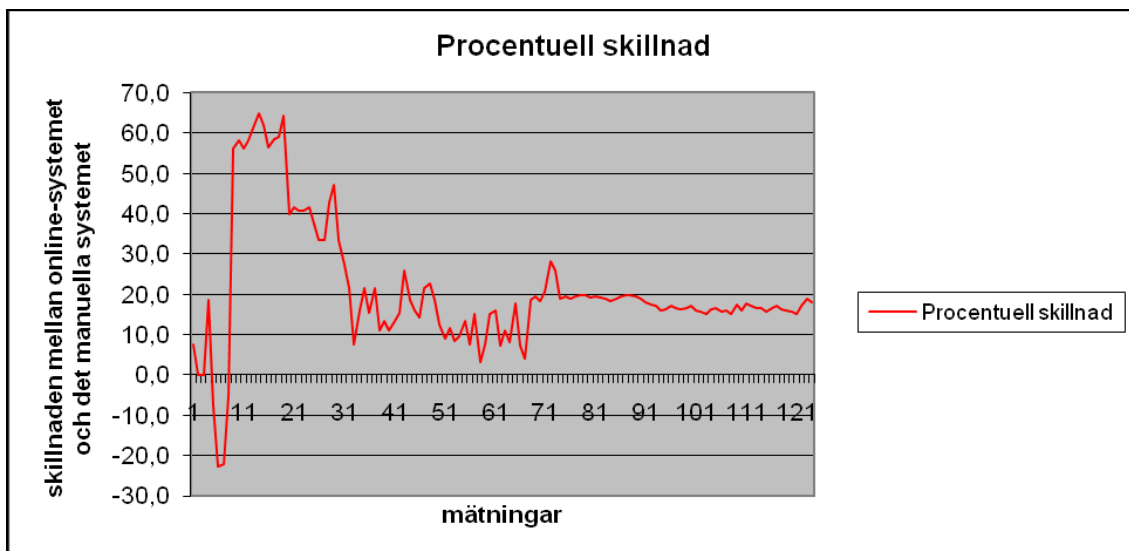
I de tidigare grumlighetsmätningarna för råvatten var endast en brunnspump i bruk. Genom att starta båda brunnspumparna steg turbiditeten på råvattnet till över 12 NTU. Mätvärdena som erhöles är avbildade i figur 22 nedan



Figur 22. Jämförelsen av mätresultaten för grumlighet uppmätta med ABB online-instrumentet och HACH 2100P IS efter att högre nivåer av turbiditet uppnåtts.

I figur 22 framgår det att skillnaden är ekvivalent till den som framgår i figur 19 och 20.

I figur 23 nedan presenteras den procentuella skillnaden mellan mätvärden erhållna med online-systemet och den bärbara turbiditetsmätaren.



Figur 23. Den procentuella skillnaden i förhållande till mätningarna.

I figur 23 framgår den inverkan kalibreringen samt rengöringen hade på mätningarna. Även skillnader orsakade av vattnets grumlighet påvisas. Resultaten som presenteras i figur 13 och 14 syns i figur 23 som värden mellan 9 och 30, var en minskning i den procentuella skillnaden med ca 20 % blir tydlig. Detta kan bero på att det tidigare skett ett fel vid kalibreringen av den bärbara mätaren. Även andra åtgärder gjorda under mätningarna framgår ur grafen vilket betonar vikten av regelbunden rengöring och kalibrering samt varsamheten i samband med dem.

De slutliga mätningarna för bruksvatten, numrerade som 50-67 i figur 23, visade en konstant procentuell skillnad på 5-15 %. Även den procentuella skillnaden för råvatten låg kring 15 % men dock mer konstant.

6. AVSLUTANDE DISKUSSION

6.1. Resultatanalys

Ur resultaten framgår att det förekommer en skillnad mellan mätvärdena erhållna av ABB:s turbiditetsmätare och 2100P IS bärbara mätare. Dessa resultat stöder Anderssons påstående om att resultat från turbiditetsmätare av olika design vanligtvis inte motsvarar varandra. Emellertid kan det konstateras att den procentuella skillnaden hålls förhållandevis konstant, vilket kan bero på ett kalibreringsfel i någotdera instrumentet. Detta kan dock inte bevisas eftersom mätinstrumentens tillförlitlighet inte kan garanteras. Kalibreringen av den bärbara turbiditetsmätaren, som är ca 10 år gammal, gjordes med icke godtagna kalibreringsvätskor eftersom de vätskor som fanns till förfogande hade föråldrats. Detta kan ha påverkat mätinstrumentets tillförlitlighet (HACH Company, 2008, 3.6.2.4). Även i samband med kalibreringen av online-instrumentet kan det ha skett fel som till exempel förekomst av smuts eller fukt i sampelbehållaren. Kalibreringen av online-systemet görs emellertid med ett torrt prisma, vilket minimerar risken för misstag eftersom den görs med endast två referensvärden (ABB User Guide, 2008, s.20).

Beträffande konsekvens och driftsäkerhet uppvisar resultaten ingen större skillnad mellan de två mätinstrumenten. Det måste dock beaktas att online-systemet inte varit i bruk längre än 3-4 veckor, vilket leder till att inga entydiga slutsatser gällande dess driftsäkerhet kan dras.

Med avseende på design och metod visar resultaten ingen väsentlig skillnad. 2100P IS följer förhållandedesignen vilket kan vara lägligare vid mätning av färgat vatten. Bruksvattnet och råvattnet antas dock vara ofärgat och således torde resultaten inte ha påverkats av val av design. Däremot har förhållandedesignen ytterligare en viktig egenskap, det vill säga dess förmåga att beakta lampans förfall. Även om 2100P IS är ca 10 år gammal antas den fortfarande vara funktionsduglig såvida den inte tagit skada.

Beträffande rengöring är noggrannhet och regelbundenhet lika viktigt gällande båda mätapparaterna. Rengöringen av online-systemet sker emellertid delvis automatiskt och kan eventuellt ge tillförlitligare resultat i det långa loppet. På grund av att apparaten endast använts en kort tid vid tiden för undersökningen kan detta dock inte bekräftas. För att kontrollera den automatiska rengöringsfunktionen måste online-systemet tas ur

bruk men om resultatet inte tydligt avviker kan misstankar om förorening lätt förbigås. Som tidigare konstaterats förutsätter en grundligare rengöring av den bärbara turbiditetsmätaren att instrumentet skickas till HACH Company. Inverkan från smuts och damm borde däremot kunna elimineras med hjälp av kalibrering.

Ur resultaten framgår det en skillnad beträffande mätinstrumentens resolution och noggrannhet. I de fall där turbiditeten överstiger 10 NTU kan den bärbara turbiditetsmätaren inte ange värden med två decimalers noggrannhet. Detta har som följd att det uppmätta resultatet för turbiditet som överstiger 10 NTU inte är exakt, men eftersom det rör sig om en skillnad på högst 0,1 NTU kan denna variation i de flesta fall bortses från.

Den mest markanta skillnaden mellan online-systemet och 2100P IS är tidsintervallen för mätningen. Online-systemet ger kontinuerliga mätvärden till skillnad från de som manuellt erhålls med hjälp av den bärbara mätaren. På basis av de kontinuerliga värdena kan vattenkvaliteten kontrolleras vilket kan leda till en optimering av reningsprocessen.

6.2. Sammanfattning

Syftet med detta arbete var att undersöka om mätvärden inhämtade med hjälp av det nya online-systemet ABB 7997-201 korrelerar med mätvärden inhämtade med det gamla systemet HACH Portable Turbidimeter 2100P IS vid mätning av grumlighet i vatten. Resultaten från denna undersökning visade att mätvärdena inte korrelerar med varandra, d.v.s. det förekommer skillnader i de jämförda mätvärdena. Det går dock inte att avgöra orsaken till dessa skillnader utifrån denna undersökning. Undersökningen kunde förbättras genom användningen av flera grumlighetsmätare eftersom det skulle ge fler mätvärden att jämföra med. Fel som uppstår till exempel vid kalibrering skulle då lättare kunna upptäckas. Även andra faktorer så som bubblor och smuts kunde lättare upptäckas eftersom skillnaderna skulle framstå tydligare då man jämförde flera resultat av samma vätska. Dessutom kunde mätningarna av både bruks- och råvatten påbörjas samtidigt för att snabbare kunna upptäcka skillnader gällande mätinstrumentens konsekvens och driftsäkerhet. Genom att utföra fler mätningar under en längre tid torde även variationer som beror på mätinstrumentens noggrannhet (+2 %) kunna försummas.

För att ytterligare förbättra undersökningen kunde mätningarna göras med hjälp av vätskor vars turbiditet är fastställda på förhand och med varierande grumlighetshalt. Detta skulle öka tillförlitligheten i mätresultaten eftersom referensvärdenas turbiditet kunde anses vara korrekta.

På basis av den här undersökningen kan man inte avgöra vilket system som uppvisar mer exakta mätvärden. I avseende på konsekvens rekommenderas emellertid ABB:s online-system eftersom det konstant ger mätresultat. Detta gör det möjligt att optimera reningsprocessen vilket var ett av syftena i denna studie.

Källor

- ABB Data Sheet (2008). Turbidity Systems 4670 Data Sheet SS/4670 Issue 15. Hämtad 11.12.2009. Tillgänglig online
[http://www05.abb.com/global/scot/scot203.nsf/veritydisplay/2e4dc423a2b aa7ebc12574d5004d2530/\\$File/SS_4670_15.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot203.nsf/veritydisplay/2e4dc423a2b aa7ebc12574d5004d2530/$File/SS_4670_15.pdf)
- ABB SM500F (2008). SM500F ABB Instrumentation PB/SM500F - EN. Hämtad 12.3.2010. Tillgänglig online:
[http://www05.abb.com/global/scot/scot203.nsf/veritydisplay/6658164af94 84bd7c125745c003055ac/\\$File/PB_SM500F-EN.PDF](http://www05.abb.com/global/scot/scot203.nsf/veritydisplay/6658164af94 84bd7c125745c003055ac/$File/PB_SM500F-EN.PDF)
- ABB User Guide (2008). Turbidity Systems 4670 Series User Guide IM/4670_17. Hämtad 22.3.2010. Tillgänglig online:
[http://www05.abb.com/global/scot/scot203.nsf/veritydisplay/834875b012 1ad81bc12574d5003e74c2/\\$File/IM_4670_17.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot203.nsf/veritydisplay/834875b012 1ad81bc12574d5003e74c2/$File/IM_4670_17.pdf)
- Anderson, Chaunsey W. (2005). *Turbidity*. Ingår i "National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data. Techniques of Water-Resources Investigations. Book 9. Handbooks for Water-Resources Investigations" (2/2008). Hämtad 20.3.2010. Tillgänglig online
http://water.usgs.gov/owq/FieldManual/Chapter6/6.7_contents.html
- Basic Turbidimeter Design and Concepts (1999). Ingår i EPA Guidance Manual. Turbidity Provisions. Hämtad 12.3.2010. Tillgänglig online
http://www.epa.gov/ogwdw000/mdbp/pdf/turbidity/chap_11.pdf
- Galvanic Applied Science Inc. Standardized Guidelines and valuable Information regarding Turbidity measurement. Hämtad 3.4.2010. Tillgänglig online
<http://www.monitek.de/basics/turbidimetry.html>
- HACH Company (2008). Portable Turbidimeter Model 2100P. Hämtad 11.2.2010. Tillgänglig online
<http://www.hach.com/fmmimghach?/CODE%3A4650088-2008-0416048|1>
- HACH Company. Hämtad 14.4.2010. Tillgänglig online
<http://www.hach.com/hc/search.product.details.invoker/PackagingCode=4650000/NewLinkLabel=2100P+Portable+Turbidimeter/SESSIONID|CE56TXIORE0wTURRNU5qSW1aM1ZsYzNST1ZnPT1Ba2hSUKRFeQ==|>
- HACH Data Sheet, 2007. 2100P and 2100P IS Portable Turbidimeter Lit. No. 1619. Hämtad 16.3.2010. Tillgänglig online
http://www.hach.com/fmmimghach?/CODE%3AL1619_09-0713836|1
- Isomäki E., Valve M., Kivimäki A-L. & Lahti K. (2007). *Underhåll och kontroll av små grundvattenverk*. Miljöhandledning. Finlands miljöcentral. Helsingfors. Hämtad 16.3.2010. Tillgänglig online:
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=69509&lan=sv>

Lake access. Hämtad 22.3.2010. Tillgänglig online
<http://lakeaccess.org/russ/turbidity.htm>

Optek. Hämtad 22.3.2010. Tillgänglig online
http://www.optek.com/Turbidity_Measurement_Units.asp

Sadar, Michael J. (2007). Water Quality, Turbidity Revealed. *Opflow*, (Januari 2007), s. 24-26. Hämtad 11.2.2010. Tillgänglig online
http://www.hach.com/fmmimghach?/CODE%3ATURBIDITY_REVEALED_F16045|1

Sadar M.J (2007). *Turbidity Science*. Ingår i: “Technical Information Series—Booklet No. 11”. Hämtad 20.2.2010. Tillgänglig online:
<http://www.hach.com/fmmimghach?/CODE:L7061549|1>

USGS. Hämtad 22.3.2010. Tillgänglig online <http://or.water.usgs.gov/grapher/fnu.html>

DATA SHEET

2100P and 2100P IS Portable Turbidimeter

Turbidimetry

Features and Benefits

Laboratory Quality in a Portable Unit

The Hach 2100P and 2100P IS Portable Turbidimeters offer a level of performance previously possible only with laboratory instruments. Microprocessor-controlled operation and Hach's unique Ratio™ optics bring great accuracy, sensitivity, and reliability to field and in-plant testing.

Two Models for Specific Requirements

- **2100P Turbidimeter**—Get fast, accurate turbidity testing in the field or the lab, over a wide range of samples. Compliant with USEPA Method 180.1 design criteria.
- **2100P IS Turbidimeter**—Designed to meet international standards that mandate measurement using an LED light source.

Two-detector Optical System

The two-detector optical system compensates for color in the sample, light fluctuation, and stray light, enabling analysts to achieve laboratory-grade performance on a wide range of samples, even under difficult, onsite conditions.



The Hach 2100P and 2100P IS Portable Turbidimeters bring laboratory-level performance on-site, offering fast, accurate results and the ease-of-use analysts demand in the field. With a measurement range of 0 to 1000 NTU and a resolution of 0.01 NTU, the 2100P turbidimeter is ideal for regulatory monitoring, process control or field studies.

Specifications*

	2100P	2100P IS
Measurement Method	Nephelometric Ratio	
Regulatory	Meets EPA Method 180.1	Meets EN ISO 7027
Light Source	Tungsten lamp	Light-emitting diode (LED) @ 860 nm
Range		
Automatic Range Mode	0 to 1000 NTU	0 to 1000 FNU
Manual Range Selection	0 to 9.99, 0 to 99.9 and 0 to 1000 NTU	0 to 9.99, 0 to 99.9 and 0 to 1000 FNU
Accuracy	±2% of reading plus stray light	
Repeatability	±1% of reading, or 0.01 NTU, whichever is greater	±1% of reading, or 0.01 FNU, whichever is greater
Resolution	0.01 on lowest range	
Signal Averaging	Selectable on/off	
Power Requirement	4 AA alkaline batteries or optional battery eliminator	
Battery Life, Typical	300 tests with signal average mode off 180 tests with signal average mode on	
Operating Temperature	0 to 50°C (32 to 122°F)	
Sample Required	15 mL (0.5 oz.)	
Sample Cells	60 x 25 mm (2.36 x 1 in.) borosilicate glass with screw caps	
Dimensions	22.2 x 9.5 x 7.9 cm (8.75 x 3.75 x 3.12 in.)	
Weight	0.5 kg (1.1 lb.); shipping weight 2.7 kg (6 lb.)	
Warranty	2 years	

*Specifications subject to change without notice.

DW = drinking water WW = wastewater municipal PW = pure water / power
IW = industrial water E = environmental C = collections FB = food and beverage



Be Right™

DW

WW

PW

IW

E

FB

Specification

7997-200 Turbidity Sensor

Range

Programmable 0...25 NTU to 0...250 NTU and 0...500 mg/l (or p.p.m.)

Note. The maximum range for suspended solids measurement is dependent upon the coefficient value of the sample.

Measurement Principle

90 ° scattered light measurement. Compliant to ISO7027

Measurement Characteristic

Linear based on Formazine

Resolution

0.1 NTU

Repeatability

Better than 1 % of span

Accuracy

±2 % of reading (limited by uncertainty in Formazine standards)
from 0...100 NTU
±5 % from 100...250 NTU

Temperature drift

0.005 NTU/10 °C (0.003 NTU/10 °F)

Response time

Varies with flow rate, typically 90 % step change in 2 minutes at 1 l/min-1.

Flow rate

0.5...1.5 l/min-1

Integral wiper cleaning system

Programmable operational frequency every 0.25 hour, 0.5 hour, 0.75 hour or multiples of 1 hour up to 24 hours

Sample operating temperature

0...50 °C (32...122 °F)

Sample Pressure

Up to 3 bar (43.5 psi)

7997-201 & 7997-202 Turbidity Sensors

Range

Programmable 0...1 NTU to 0...30 NTU

Measurement Principle

90 ° scattered light measurement. Compliant to ISO7027

Measurement Characteristic

Linear based on Formazine

Resolution

0.01 NTU

Repeatability

Better than 1 % of span

Accuracy

±2 % of reading (limited by uncertainty in Formazine standards)

Temperature drift

0.005 NTU/10 °C (0.003 NTU/10 °F)

Response time

Varies with flow rate, typically 90 % step change in less than 45 s at 1 l/min

Flow rate

0.5...1.5 l/min-1

Integral wiper cleaning system (7997-201 only)

Programmable operational frequency every 0.25 hour, 0.5 hour, 0.75 hour or in multiples of 1 hour up to 24 hours

Sample operating temperature

0...50 °C (32...122 °F)

Sample pressure

Up to 3 bar (43.5 psi)

Bilaga 3/1(3)

BRUKSVATTEN					
Mätning:	NTU-värde erhållet från P1 med online-systemet	NTU-värdet erhållet från P2 med 2100P IS	NTU-värdet erhållet från P3 med 2100P IS	Medeltal P2 & P3	Skillnad %
1	0,12		0,13	0,13	7,7
2	0,14		0,14	0,14	0,0
3	0,15		0,15	0,15	0,0
4	0,13		0,16	0,16	18,8
5	0,14		0,13	0,13	-7,7
6	0,38	0,31		0,31	-22,6
7	0,22	0,18		0,18	-22,2
8	0,21		0,20	0,20	-5,0
9	0,09	0,23	0,18	0,21	56,1
10	0,10	0,25	0,23	0,24	58,3
11	0,09	0,22	0,19	0,21	56,1
12	0,09	0,23	0,20	0,22	58,1
13	0,08	0,22	0,20	0,21	61,9
14	0,07	0,21	0,19	0,20	65,0
15	0,08	0,22	0,20	0,21	61,9
16	0,10	0,25	0,21	0,23	56,5
17	0,11	0,27	0,26	0,27	58,5
18	0,09	0,23	0,21	0,22	59,1
19	0,08	0,23	0,22	0,23	64,4
20	0,09	0,15	0,15	0,15	40,0
21	0,07	0,12	0,12	0,12	41,7
22	0,08	0,13	0,14	0,14	40,7
23	0,08	0,13	0,14	0,14	40,7
24	0,07	0,11	0,13	0,12	41,7
25	0,10	0,16	0,16	0,16	37,5
26	0,09	0,14	0,13	0,14	33,3
27	0,09	0,13	0,14	0,14	33,3
28	0,08	0,14	0,14	0,14	42,9
29	0,09	0,16	0,18	0,17	47,1
30	0,09	0,13	0,14	0,14	33,3
31	0,12	0,17	0,16	0,17	27,3
32	0,11	0,14	0,14	0,14	21,4
33	0,12	0,13	0,13	0,13	7,7
34	0,13	0,16	0,15	0,16	16,1
35	0,11	0,14	0,14	0,14	21,4
36	0,11	0,13	0,13	0,13	15,4
37	0,11	0,14	0,14	0,14	21,4
38	0,12	0,13	0,14	0,14	11,1
39	0,13	0,15	0,15	0,15	13,3
40	0,12	0,14	0,13	0,14	11,1
41	0,13	0,14	0,16	0,15	13,3
42	0,11	0,13	0,13	0,13	15,4
43	0,10	0,14	0,13	0,14	25,9
44	0,13	0,16	0,16	0,16	18,8
45	0,13	0,16	0,15	0,16	16,1
46	0,12	0,14	0,14	0,14	14,3

Bilaga 3/2(3)

47	0,11	0,14	0,14	0,14	21,4
48	0,12	0,15	0,16	0,16	22,6
49	0,11	0,14	0,13	0,14	18,5
50	0,14	0,16	0,16	0,16	12,5
51	0,15	0,16	0,17	0,17	9,1
52	0,15	0,17	0,17	0,17	11,8
53	0,16	0,17	0,18	0,18	8,6
54	0,14	0,15	0,16	0,16	9,7
55	0,13	0,15	0,15	0,15	13,3
56	0,12	0,13	0,13	0,13	7,7
57	0,14	0,16	0,17	0,17	15,2
58	0,15	0,16	0,15	0,16	3,2
59	0,18	0,19	0,20	0,20	7,7
60	0,14	0,16	0,17	0,17	15,2
61	0,13	0,15	0,16	0,16	16,1
62	0,19	0,21	0,20	0,21	7,3
63	0,16	0,18	0,18	0,18	11,1
64	0,17	0,18	0,19	0,19	8,1
65	0,14	0,16	0,18	0,17	17,6
66	0,13	0,14	0,14	0,14	7,1
67	0,12	0,13	0,12	0,13	4,0

TEST VATTEN					
Mätning:	NTU-värde erhållet från P1 med online-systemet	NTU-värdet erhållet från P2 med 2100P IS	NTU-värdet erhållet från P3 med 2100P IS	Medeltal P2 & P3	Skillnad %
68	1,80		2,21	2,21	18,6
69	1,76		2,19	2,19	19,6
70	1,81		2,22	2,22	18,5

RÅVATTEN					
Mätning:	NTU-värde erhållet från P1 med online-systemet	NTU-värdet erhållet från P2 med 2100P IS	NTU-värdet erhållet från P3 med 2100P IS	Medeltal P2 & P3	Skillnad %
71	1,62		2,04	2,04	20,6
72	5,30		7,37	7,37	28,1
73	4,47		6,02	6,02	25,7
74	2,40	2,96	2,96	2,96	18,9
75	2,35	2,91	2,92	2,92	19,4
76	2,39	2,95	2,95	2,95	19,0
77	2,33	2,89	2,90	2,90	19,5
78	2,32	2,89	2,89	2,89	19,7
79	2,30	2,86	2,87	2,87	19,7
80	2,35	2,91	2,91	2,91	19,2
81	2,36	2,93	2,93	2,93	19,5
82	2,36	2,92	2,93	2,93	19,3
83	2,41	2,97	2,98	2,98	19,0
84	2,43	2,98	2,98	2,98	18,5
85	2,42	2,97	2,99	2,98	18,8
86	2,39	2,96	2,97	2,97	19,4
87	2,32	2,89	2,89	2,89	19,7
88	2,31	2,87	2,88	2,88	19,7

Bilaga 3/3(3)

89	2,37	2,94	2,94	2,94	19,4
90	2,43	3,00	2,99	3,00	18,9
91	2,52	3,08	3,07	3,08	18,0
92	2,67	3,22	3,25	3,24	17,5
93	2,72	3,26	3,30	3,28	17,1
94	2,78	3,30	3,33	3,32	16,1
95	2,76	3,28	3,31	3,30	16,2
96	2,73	3,27	3,32	3,30	17,1
97	2,70	3,22	3,26	3,24	16,7
98	2,69	3,20	3,23	3,22	16,3
99	2,74	3,27	3,31	3,29	16,7
100	2,74	3,28	3,33	3,31	17,1
101	2,69	3,19	3,21	3,20	15,9
102	2,62	3,08	3,13	3,11	15,6
103	2,65	3,10	3,14	3,12	15,1
104	2,49	2,96	2,99	2,98	16,3
105	2,55	3,03	3,08	3,06	16,5
106	2,71	3,20	3,23	3,22	15,7
107	2,66	3,16	3,17	3,17	16,0
108	2,61	3,07	3,09	3,08	15,3
109	2,60	3,19	3,10	3,15	17,3
110	3,47	4,11	4,15	4,13	16,0
111	4,15	5,00	5,09	5,05	17,7
112	13,21	15,90	16,00	15,95	17,2
113	13,54	16,20	16,30	16,25	16,7
114	13,67	16,30	16,50	16,40	16,6
115	13,89	16,40	16,60	16,50	15,8
116	14,55	17,40	17,50	17,45	16,6
117	14,31	17,30	17,30	17,30	17,3
118	14,67	17,50	17,60	17,55	16,4
119	15,03	17,80	18,00	17,90	16,0
120	13,78	16,30	16,40	16,35	15,7
121	14,15	16,60	16,70	16,65	15,0
122	14,34	17,20	17,40	17,30	17,1
123	12,76	15,70	15,80	15,75	19,0
124	13,03	15,80	16,00	15,90	18,1