

Automatisering av reningsverk

En förstudie

Simon Sand

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningsprogrammet för elektroteknik

Vasa 2015



EXAMENSARBETE

Författare: Simon Sand

Utbildningsprogram och ort: Elektroteknik, Vasa

Inriktningalternativ: Automationsteknik

Handledare: Emil Cederlov & Erik Englund

Titel: *Automatisering av reningsverk – En förstudie*

Datum 27.04.2015 Sidantal 36

Abstrakt

Uppgiften var att göra en förstudie inför en modernisering av ett reningsverk där man renar avloppsvatten som består av biologiskt avfall. I reningsprocessen renas avloppsvattnet och behandlas i olika typer av processer. I de olika processerna ingår bland annat filtrering, rötning, aktiverad slambehandling. Reningen sker både med hjälp av olika mikroorganismer i rötningen samt aktiverad slambehandling och mekanisk rening genom sedimentering och filtrering. Reningsverket minskar fabriken miljöpåverkan genom att miljöförstörande rester avlägsnas och ger hanterliga ämnen. Det renade vattnet återanvänds i fabriken. Gasen som utvinns förbränns för värme.

Målet är att modernisera reningsverket som i dagens läge till största delen styrs genom föråldrad, manuell teknik. I och med automatiseringen av reningsverket är det tänkt att programmerbar logik installeras som styrenheter. En dedikerad dator med SCADA finns för att sköta övervakningen av systemet. Systemet kommer att uppdateras och utvidgas.

Förstudien görs innan det praktiska arbetet inleds och krävs för att säkerställa rätt omfattning av det nya styrsystemet genom studier av säkerhetsbestämmelser samt annan relevant litteratur. I förstudien ingår bland annat arbetskydd och driftsäkerhet.

Språk: svenska

Nyckelord: reningsverk, automatisering, arbets- och driftsäkerhet

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Simon Sand

Koulutusohjelma ja paikkakunta: Sähkötekniikka, Vaasa

Suuntautumisvaihtoehto: Automaatiotekniikka

Ohjaajat: Emil Cederlöv & Erik Englund

Nimike: *Jätevedenpuhdistamon automatisointi - Esitutkimus*

Päivämäärä 27.04.2015

Sivumäärä 36

Tiivistelmä

Tehtävä oli tehdä esitutkimus ennen jätevedenpuhdistamon modernisointia. Puhdistamossa puhdistetaan jätevettä, joka koostuu biologisesta jätteestä. Puhdistusprosessissa jätevesi suodetaan ja mikro-organismit hajottavat osan biologisesta jätteestä aktiivisella käsittelyllä. Anaerobisessa prosessissa hyödynnetään prosessissa syntyvää kaasua, jota poltetaan tehtaassa omaassa kaasulämmityskattilassa. Laitoksen lopputuotteet ovat puhdas vesi, kaasu ja mädätyksen jäämät.

Tavoite on jätevedenpuhdistamon modernisointi. Puhdistamoa ohjataan tänä päivänä pitkälti käsin ja vanhentuneella ohjausjärjestelmällä. Modernisoinnin myötä ajatuksena on asentaa ohjelmoitava logiikka ohjausyksiköinä. SCADA-toimivuudella varustettu tietokone on jo asennettu. SCADA-ohjelma päivitetään ja laajennetaan.

Esitutkimus tehdään ennen kuin käytännön työ alkaa. Se vaaditaan, jotta voidaan varmistaa oikea laajuus uudessa ohjausjärjestelmässä, ja tämä tehdään tutkimalla turvamääräyksiä sekä muuta käyttökelpoista kirjallisuutta. Esitutkimus käsittelee myös muun muassa työturvallisuutta ja käyttövarmuutta.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: jätevedenpuhdistamo, automatisointi, työturva, käyttövarmuus

BACHELOR'S THESIS

Author: Simon Sand

Degree Programme: Electrical engineering, Vaasa

Specialization: Automation

Supervisors: Emil Cederlöv & Erik Englund

Title: *Automation of a wastewater treatment plant – A preliminary study*

Date 27.04.2015

Number of pages 36

Summary

The task was to make a preliminary study for the automation of a wastewater treatment plant, where wastewater that contains biological waste is purified. In the purification process the wastewater is being filtered, treated by microorganisms in an active system, and also treated in an anaerobic bioreactor where flammable gas is obtained. The clean water obtained is used in the potato washer in the factory. The methane that is obtained is burned for heat.

The goal is to modernize the wastewater treatment plant that, as of today, is controlled mostly by aged control systems and manual control. The intention is to use PLCs as the control units in the plant. A dedicated computer with SCADA functionality is used in the plant for process surveillance and process management. The SCADA system will be updated and expanded.

The preliminary study was made before the practical work is started and is needed to ensure the correct vastness of the new control system. It will be done with by studying safety regulations and other relevant literature. Work safety and secure operation are also solved in this study.

Language: swedish Key words: wastewater treatment, automation, safety, secure operation

Innehållsförteckning

1 Uppdragsgivare.....	1
1.1 Klingbergs elektriska Ab – företaget.....	1
1.2 Orkla.....	1
2 Modernisering av reningsverksanläggning.....	2
2.1 Målet med automatiseringen	3
2.2 Nulägesanalys	3
2.2.1 Systemutformning	4
3. Processautomation.....	6
3.1 Processreglering.....	7
3.2 Val av utrustning	7
3.3 Val av automationsutrustning	8
3.4 Mätning och givare	9
3.4.1 Mätning av syrekonzentration, ammoniak och nitrat i vätska.....	9
3.5 Reglermetoder i reningsverk	10
3.5.1 Luftningsreglering baserad på ammoniak och DO.....	10
3.6 Fördröjningar i styrdon	11
3.7 PLC.....	12
4. Styrproblem och utmaningar i reningsverk.....	12
4.1 Avloppssystemet.....	13
4.2 Aktiverad slamreaktor	14
4.3 Filtrering.....	16
4.3.1 Roto-Sieve	16
4.3.2 Sandfilter	17
4.3.3 Styrproblem i filtreringen.....	18
4.4 Biobädd	18
4.5 Anoxisk reaktor	20
4.6 Röt-kammare	20
4.7 Sekundär sedimenteringstank	21
4.8 Separation.....	22

4.8.1 Förtjockning och klarning.....	23
4.8.2 Järnklorid som klarmedel.....	24
4.9 Avvattning.....	24
5. Säkerhet.....	25
5.1 Arbetarskydd på arbetsplatsen.....	26
5.2 Säkerhet i automatiska system.....	29
5.3 Driftsäkerhet.....	29
6. Sprinklersystem.....	30
6.1 Lagar och bestämmelser.....	31
6.2 Vattenkällor.....	31
6.3 Sprinklersystemet och reningsverket.....	32
7 Sammanställning av resultat av förstudien.....	32
8 Slutsatser, rekommendationer och utvärdering.....	33
Källförteckning.....	35

Ordlista

Aerob process – Process som kräver syre. Vanligen syresatt genom att pumpa in luft som bubblar upp genom vätskan, eller genom fasta eller flytande ytmonterade impellers som sprider vätskan genom luften.

Anaerob process – En process i syrefritt förhållande. Fritt från både fritt (O_2) och bundet syre (NO_2 , NO_3).

Anoxi – Reducerat förhållande utan fritt syre. Bundet syre kan förekomma.

DO – Dissolved Oxygen (i vätska upplöst syre)

I/O – Input/ Output (Ingång/ Utgång)

P& ID-schema – Piping and Instrumentation Diagram (Rör- och instrumentritning)

PID – Proportional- Integral- Derivative, regulatorer inom industrin (Proportionell, Integrerande och deriverande regulator)

Rötning – Exempel på anaerob process. Det biologiska materialet bryts ner av mikroorganismer under rötningen och bland annat brännbar gas uppstår i processen.

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition (System för överordnad styrning och datainsamling)

Sulfider – Svavel som anjon (S^{2-}). Motsvarande syra är svavelväte (H_2S).

1 Uppdragsgivare

Företaget Klingbergs elektriska Ab i Mariehamn, Åland, har fått uppdraget att modernisera reningsverket på Orkla Ab:s chipsfabrik på Åland. Företaget har anlåtits till de flesta större moderniseringsprojekten på Orklas chipsfabrik. Klingbergs elektriska kommer att använda förstudien som hjälpmedel i moderniseringsarbetet.

1.1 Klingbergs elektriska Ab – företaget

Klingbergs elektriska AB grundades år 2005 på Åland av VD Kent Klingberg. I början var det ett enmansföretag och idag har man över 30 anställda. Klingbergs elektriska Ab finns sedan våren 2012 på adressen Godbyvägen 11 i Mariehamn.

I början utfördes mindre elinstallationer inom industrin. Verksamheten har med tiden utvidgats till fler områden som brandalarm, truckservice och installation av hissar. Klingbergs elektriska Ab är det enda företaget på Åland som innehar rättigheter att installera hissar. Sedan den 16 oktober 2013 har företaget även varit verksamt inom VVS-branschen. I butiken finns allt från badrum till solpaneler.

Företaget ställer höga krav på säkerheten inom alla verksamhetsområden. Klingbergs Elektriska Ab är ett auktoriserat företag i VVS-branschen genom branschregelverket Säker Vatteninstallation.

1.2 Orkla

Orkla Confectionary & Snacks Finland bildades genom fusion av Chips Ab som tillverkar potatisprodukter och Finlands näst största sötsakstillverkare, Panda Ab. Varumärkena för potatisprodukterna är Taffel chips och frysvaror med varumärket Oolannin.

Chips Ab var Finlands första producent av potatischips. Företaget grundades 14.05.1969 med avsikten att skapa en landbaserad industri för att stävja utflyttningen från Åland. Grundarna Knut Mattson, Lars Mattson och Pehr-Olof Böckelman fick idén att tillverka potatischips under en resa till Amerika. Haraldsbyfabriken invigdes i november 1970. Deras första produkt var ett slätt, saltat potatischips.

2 Modernisering av reningsverksanläggning

Uppgiften i detta arbete var att utföra en förstudie av möjligheterna att modernisera och effektivisera reningsverksanläggningen genom förnyandet av gammal el- och styrutrustning. En stor del av anläggningen styrs i dagens läge med föråldrad teknik; mycket manövreras manuellt. En mindre del av anläggningen styrs och övervakas med hjälp av modernare utrustning och enskilda styrenheter vilket motverkar enhetlig styrning av anläggningens delmoment.

Moderniseringsarbetet försvåras i och med förekomsten av odokumenterade tillbyggnader och ombyggnader av anläggningen och styrsystemen. Detta försvårar även underhåll av utrustningen. Flera sektioner och apparater i anläggningen styrs av skilda styrsystem som kan lösas på ett mer enhetligt sätt.

Anläggningen sköts av två personer. De känner till anläggningen väl och de ansvarar för anläggningens kontinuerliga drift samt underhåll. Detta kräver i dagsläget att de förutom vid normal arbetstid även behöver kontrollera anläggningen också på helgerna. Att lära upp ersättande eller vikarierande personal försvåras i och med den manuella styrningen.

Anläggningen består av följande system:

- FÖRBEHANDLING, SYSTEM 10.
- BIO-BÄDD, SYSTEM 20.
- AKTIVT SLAM, SYSTEM 30.
- SANDFILTER, SYSTEM 40.
- FÖRTJOCKARE, SYSTEM 50.
- AVVATTNING, SYSTEM 60.
- RÖTKAMMARE, SYSTEM 70.
- SPRINKLERSYSTEM, SYSTEM 80.

Vid värre störningar i reningsverkets funktion som leder till att reningskapaciteten inte räcker till så finns det möjligheten att pumpa avloppsvattnet till reningsanläggningen Lotsbroverket i Mariehamn. Kapaciteten på Lotsbroverket är dock inte tillräcklig för hantering av allt avloppsvatten.

2.1 Målet med automatiseringen

Målet med att göra om styrsystemet i reningsverket är att man ska uppnå noggrannare kontroll och övervakning över anläggningen. Moderniseringen kommer även att underlätta för utomstående att sätta sig in i systemet samt att styrningen kommer att bli mer enhetlig. Man kommer att ha överblick över hela anläggningen från kontrollrummet. Det är även meningen att operatörerna ska ha möjlighet att övervaka anläggningen hemifrån. I och med noggrannare övervakning kan man försnabba responstiden i fall det uppstår störningar i anläggningen. Det leder till att tillförlitligheten ökar.

Anläggningens enhetlighet kommer att förbättras genom att välja enhetlig utrustning. Genom att utrustningen är mer enhetlig blir det lättare att felsöka och underhålla i och med att man lättare kan lära sig utrustningarnas funktioner. Till exempel frekvensomvandlarna som är i användning i dagsläget vid anläggningen är av olika fabrikat och alla har olika menyer och sätt att ställa in parametrarna på. Det går att uppnå samma resultat med utrustning av olika fabrikat, men det gör underhållet mer komplicerat. Därför är enhetlig utrustning att föredra.

2.2 Nulägesanalys

Avloppsvatten behandlas genom olika bioteknologiska processer. Avloppsvatten är vattenburet avfall som uppstår i bebyggelse och inom industrin. Nedbrytningen av biologiskt avfall kan ge upphov till dåliga lukter och är skadligt för vattenlevande organismer på grund av syret som går åt i nedbrytningen. Vidare så kan avloppsvattnet innehålla mikroorganismer, tungmetaller och andra giftiga ämnen som kan vara skadliga för miljön. Att avlägsna farliga komponenter i avloppsvattnet är viktigt. Varierande uppkomst av avloppsvatten över tid försvårar hanteringen.

Följande föroreningar är de farligaste i avloppsvatten:

- Fasta partiklar – Ger upphov till slamansamling.
- Biologiskt nedbrytbara ämnen – Främst proteiner, kolhydrater och fetter som reducerar DO-koncentrationen i vattnet.
- Patogena organismer – Kan göra människor och djur sjuka.
- Näringsämnen (fosfor och kväve) – Kan orsaka övergödning om de släpps ut i sjöar som leder till algblomningar.

- Föroreningar som är skadliga i längden – Carcinogener, mutagener eller mycket giftiga föroreningar (bensen och klor-hydrokarbonater) .
- Gifter – Växtskyddsgifter m.m. (Avlägsnas ofta inte i konventionella reningsprocesser).
- Tungmetaller – Kan komma från industriella processer.
- Upplösta oorganiska ämnen – kalcium, natrium och sulfat (främst i kommunalt avloppsvatten).

Processutrustningen på reningsverket hålls i gott skick genom att de som är ansvariga för anläggningen följer uppgjorda underhållscheman. Flera gånger i veckan smörjer man rörliga delar. Andra maskiner servas normalt efter rekommenderat serviceschema eftersom man strävar efter kontinuerlig störningsfri drift.

En stor del av anläggningen styrs genom manuell styrning. Anläggningen är uppbyggd av många rör, ventiler, pumpar och motorer samt olika maskiner med många olika delar och ibland skilda styrsystem.

2.2.1 Systemutformning

Behandling av avloppsvatten kräver allmänt tre huvudsteg; primärsteg, sekundärsteg och tertiärsteg också kallat förbehandling, biologisk behandling och avancerad behandling.

I förbehandlingen blir de grövsta partiklarna bortfiltrerade redan när vattnet når anläggningen. I förbehandlingen avlägsnas fasta partiklar som sand och fetter. Transportskruvarna som transporterar bort partiklarna styrs av en skild PLC. Det som inte filtreras bort fortsätter in i en försedimenteringsbassäng. I sedimenteringsbassängen flyter fett upp till ytan som skummas av kontinuerligt samtidigt som bassängens innehåll rörs om och fettet lagras i en fettficka. Fettfickan skiljer ur vatten som har följt med och pumpar tillbaka vattnet till sedimenteringstanken. Tyngre partiklar sjunker i vätskan och samlas i bottensediment. Nivån i bassängen är viktigaste mätningen i försedimenteringsskedet. Även grumlighet kan vara värt att hålla under övervakning. Förbehandlingsens fördelar är reducerad belastning i efterföljande steg samt bidrar till ett jämnare flöde (Moulijn, Makkee & Van Diepen, 2013, s. 438 – 445).

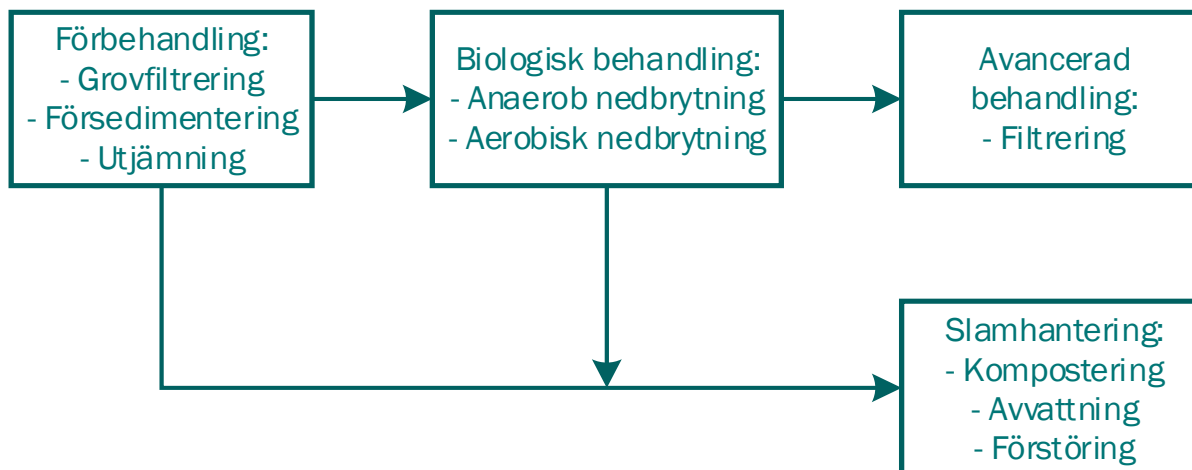
Vidare från försedimenteringen rinner vattnet vidare till en utjämningsbassäng. Utjämningsbassängen fungerar som buffert så följande delar i anläggningen skall fungera så jämnt och störningsfritt som möjligt. Det blir även en del sediment i utjämningsstanken. Innehållet i utjämningsbassängen är under omrörning. Nivån är det som mäts i bassängen.

Klarfasen från förbehandlingen är mildt förorenad och körs in i biobädden där mikrober bryter ner det kvarvarande innehållet av biologiskt nedbrytbart material i en syrerik miljö. Bakterierna som bildar en film på biobäddens media (stenar) utnyttjar de upplösta organiska innehållet men inte just det uppblandade organiska innehållet. Vätskan pumpas upp från en ansamlingstank och rinner sedan ner genom biobädden.

I sekundärbehandlingen som är baserad på biologisk behandling kan processerna delas in i aerobiska och anaerobiska processer. Valet av behandlingsmetod görs utgående från kvaliteten på vätskan som skall behandlas. Aerobisk behandling gynnas av mildt förorenat vatten med lägre halt av biologiskt nedbrytbart innehåll och svalare temperatur. Anaerobisk behandling tillämpas ofta som förbehandling av högt förorenat och varmare avloppsvatten. Mikroorganismerna som bryter ner det biologiskt nedbrytbara materialet finns närvarande i avloppsvatten och mikroorganismernas tillväxt gynnas av miljön i behandlingsprocessen.

Sedimenten från försedimenteringsbassängen och utjämningsbassängen används som substrat i anläggningens rötkammare, system 70, för utvinning av gas. Substratet består till största delen av potatisrester. Röttningsprocessen är känslig för temperatur, surhetsgrad och syre som är de värden som bör mätas. Rötresten avvattnas och vattnet pumpas till aktiverad slam reaktor samt största delen av det fasta innehållet förs ut för vidare omhändertagande.

I den aktiverade slam reaktor töms rejecktvalet från centrifugeringen av rötresten. Även vattnet som samlas efter behandlingen i biobädden töms i aktiverade slamreaktor. Luft pumpas in och bubblar upp genom vätskan så att mikroberna får tillgång till syre. Eftersedimentering sker efter anaeroba behandlingen och en del av sedimentet körs in i reaktor igen eftersom det innehåller nyttiga mikrober, medan största delen behandlas vidare genom att pumpas vidare till centrifuger för avvattning. Järnklorid tillsätts i reaktor för gynna sedimenteringen.



Figur 1. Enkel systemavbildning.

Tertiära behandlingen förbättrar vattenkvaliteten ytterligare. Vattenkvaliteten förbättras genom filtrering i sandfilter där mycket små partiklar fastnar samt eventuella tungmetaller. Det resterande slammet från förbehandling och sekundär behandling avvattnas och hanteras i slamhanteringen.

3. Processautomation

Meningen med processautomation är att styra processens funktion och ge den övervakande personalen nödvändig information om processens funktioner och lägen. Processen styrs på så vis, att produktionen skall vara så ekonomisk som möjligt, säker och miljövänlig och att produkten blir av så hög kvalitet som möjligt (Pihkala, 2011, s.13, 14).

Produktionsprocesser styrs med hjälp av datorer. Fältinstrument i nutidens processautomation (mätare, givare, motorer) är smarta. Många av dem innehåller mikroprocessorer, vilket gör att hanteringen av mätvärden är möjlig redan vid instrumentet (Pihkala, 2011, s. 13, 14).

De vanligaste processtorheterna som mäts är tryck, temperatur, flöde och nivå. För mätningen av varje storhet i fråga använder man den mest passande metoden för processens olika skeden (Pihkala, 2011, s. 13, 14).

Processens maskiner och anordningar, rör- och automationsanordningar märks ut på P& ID-schema. Till dess avbildning används standardsymboler, som är bestämda i den berörda standarden. Standarderna utvecklas fortgående, så de ändras med tiden.

Exempel på standarder inom processautomation är:

SFS-ISO 14617-5: I scheman använda symboler, mät- och styranordningar

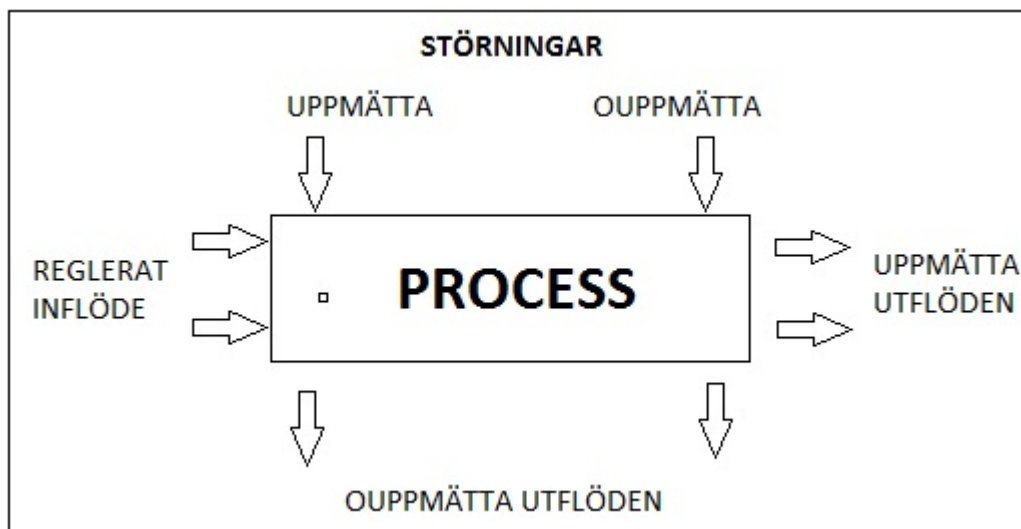
SFS-ISO 14617-6: mät- och styrfunktioner

SFS-EN ISO 10628: Processritningar, allmänna instruktioner för skapande av processchema

(Pihkala, 2011, s. 13, 14).

3.1 Processreglering

Genom noggrann reglering av processer kan man minska störningsfaktorernas inverkan. Man övervakar önskade förhållanden eller ändrar dem enligt på förhand bestämda börvärden. Faktorer som kan påverka processen är produktionsmängd som påverkar inflödet samt störningar, varav en del går att mäta och en del inte. Varje process påverkar sin omgivning med de utflöden den ger upphov till (Aittomäki, Et al., 2002, s. 304).



Figur 2. Processtorheter.

Vid planering av styrsystemet bör man känna till målet med regleringen, vilka faktorer behöver uppmätas, vilka faktorer och styrningar påverkar varandra samt vilken typ av styrning och hur man kan optimera systemet (Aittomäki, Et al., 2002, s. 304).

3.2 Val av utrustning

Vid reningsverket finns det utrymmen med reglerad temperatur där vanlig elutrustning fungerar normalt. Det finns även behov av elutrustning utomhus vid bassängerna där det krävs sådan elutrustning som tål temperaturväxlingar och varierande väderförhållanden.

Innehållet i tankar och kärl har korroderande verkan på både mätton och styrton vilket gör det viktigt att välja sådana ton som tål både temperaturväxlingar och som inte rostas sönder så lätt. Underhållet av utrustningen bör även skötas regelbundet för att försäkra tillförlitlig funktion samt pålitliga mätvärden och säker drift.

I särskilda delar av anläggningen förekommer det brandfarlig gas i form av biogas som uppstår naturligt i förruttnelseprocessen. Så stor del som möjligt av gasen utnyttjas till uppvärmning genom förbränning. Särskild EX-klassificerad (Explosionsklassning) elutrustning krävs vid installation där EX-klassade ämnen förekommer. Byggnadskonstruktionen är sådan att gashantering ska kunna ske säkert.

3.3 Val av automationsutrustning

Det har bestämts att en Siemens S7 PLC kommer att användas som styrenhet vid anläggningen. Valet föll på Siemens S7 eftersom de har expansionsmöjligheter, är tillförlitliga, går snabbt att byta ut och de har använts tidigare vid projekt åt Orkla. Valet av Siemens S7 bidrar till enhetlig utrustning inom reningsverket. S7 är en programmerbar logik som har använts länge i automationstillämpningar. PLC:n är tillförlitlig och har ett gott rykte inom krävande processtyrning och krävande miljöer.

PLC:n kommer att utökas med extra I/O-moduler för att säkerställa att alla signaler och styrsignaler kan anslutas. Det är också bra att det finns lediga I/O tillgängliga vid framtida expansioner av anläggningen eller andra ändringar i systemet.

För övervakningen av anläggningens processer finns en dedikerad dator med SCADA-funktionalitet. Det är även förslaget att man skall använda flere monitorer för utökad överblick över anläggningen. Systemet kommer att utökas vid behov, möjligtvis med en ny klient för att klara hanteringen av fler monitorer.

Olika styrdon och givare finns att tillgå. Det finns flera olika typer av givare som kan tillämpas för mätning av samma storhet. Olika givare lämpar sig olika bra för olika typer av processtorheter och processmiljöer. Olika givare och deras egenskaper tas upp i följande kapitel.

3.4 Mätning och givare

Det finns många parametrar som är viktiga för anläggningens optimala funktion. Genom att kontinuerligt mäta det som går att mäta med hjälp av olika givare så har man en grund att bygga styrsystemet på. Varje delprocess är känslig för olika störningar som man vill förebygga genom övervakning.

3.4.1 Mätning av syrekonzentration, ammoniak och nitrat i vätska

Det finns flera variabler som ger en bild av syrebehovet i en process. I aktiverade slamreaktorer bör man mäta dels mängden upplöst syre i vätskan och dels koncentrationen av ammoniak och nitrat. Elektrokemiska givare används i mätningarna och jonselektiva elektrod-baserade givare är utvecklade för detektering av specifika joner. Syrehalten bör vara tillräckligt hög i vätskan för att mikroberna skall fungera effektivt. En syrehalt av 2 mg/l är att eftersträva för att syret skall vara tillräckligt för mikroberna inuti flockerna också. Är syrehalten lägre använder de yttersta mikroberna upp allt syre först så de innersta mikroberna dör. Onödigt hög syrekonzentration orsakar onödiga luftningskostnader.

Syrehalten mäts med fördel på två punkter i aktiverade slamreaktorer; vid inloppet och utloppet. På det sättet får man en bättre bild av den faktiska syreåtgången i processen. Kontinuerlig mätning av upplöst syre i vätskan ger fördelarna av förbättrad kostnadseffektivitet, bidrar till optimerad mikrobaktivitet och därmed reningseffektivitet samt minskar behovet av laborietester.

Givare för mätning av syrekonzentration i vätskor är konstruerade av ett membran som syremolekylerna kan tränga igenom. Inuti är givaren fylld med kaliumklorid som attraherar syremolekylerna. Två elektroder, en av till exempel silver och den andra av guld är i kontakt med kaliumkloriden. Mellan elektroderna flyter en ström som påverkas av mängden syre som finns i vätskan (Mountain Empire Community College, Measuring Dissolved Oxygen (DO)).

Underhåll av syrekonzentrationsmätare är viktig för att de skall fungera korrekt. Det finns automatiska rengöringssystem som rengör membranet med hjälp av tryckluft. Underhåll av elektroderna samt kontroll av innehållet av kaliumklorid är också nödvändig med jämna mellanrum (Dissolved Oxygen Measurement in Wastewater Treatment, 2009).

Placeringen av givarna är av mindre betydelse när hela vätskan är jämnt blandad. DO-givarna kan förslagsvis placeras vid tankens inlopp och utlopp. Ammoniakgivaren placeras med fördel nära inloppet för att man snabbare kan upptäcka ökad nivå.

3.5 Reglermetoder i reningsverk

Vid noggrann reglering av processerna i reningsverk är det viktigt att man har tillräckligt med data för att få önskat resultat. Noggrann reglering lönar sig i längden genom att man undviker till exempel onödig luftningskapacitet när behovet inte finns.

Reglermetoderna som kan tillämpas varierar för varje processdel och det är svårt att säga vilken metod som fungerar bättre än en annan.

3.5.1 Luftningsreglering baserad på ammoniak och DO

Avancerade alternativ i luftningsregleringen i reningsverk möjliggörs genom givare baserade på selektiv jonelektrod. Automatisk reglering av luftningen är ekonomiskt motiverbar samt även genom optimering av anläggningspotential. Både framåtkopplade samt återkopplade reglermetoder går att tillämpa.

Med återkopplad direktreglering av luftningen baserat på koncentration av ammoniak har man i vissa fall optimerat nitrifikationsprocessen genom att hålla ammoniak-nitrat-koncentrationen mellan 0,7 mg/ l och 1,0 mg/ l. Blåsmaskinerna var i denna konfiguration av i 25 % av tiden. Systemet var också konstruerad så att hela tankens innehåll var jämnt blandat.

Direkt reglering baserad på koncentrationen av ammoniak tar inte DO- koncentrationen i beaktan. Detta leder till onödig luftning vid en del av tiden. Optimal DO-koncentration ligger mellan 1,5 mg/ l och 2,0 mg/ l. Över 2,0 mg/ l (DO) ökar nitrifikationen väldigt lite.

Återkopplad reglering med kaskadkontroll möjliggör optimering av både nitrifiering och DO-koncentration. En regulator fungerar enligt ett inställt värde på ammoniakkoncentration och beräknar DO-börvärdet som sänds till DO-regulatorn. DO-regulatorn jämför den uppmätta DO-koncentrationen med det uträknade börvärdet och beräknar luftflödet som behövs som i

sin tur sänds till luftflödesregulatorn. En sådan konfiguration kräver inställning av flera styrslingor vilket ökar regleringskomplexiteten. Alternativt kan DO-regulatorn sättas över ammoniakregulatorn så att DO-koncentrationen begränsas till ett högsta värde. På grund av att DO-koncentrationen varierar snabbare än ammoniak kan det leda till tävling mellan regulatorerna om DO-regulatorn är överordnad.

Framåtkopplad reglering baserad på ammoniak i inflödet har gett goda resultat; i vissa fall upp till 11 % lägre luftningsbehov än DO-baserad återkopplad reglering. En modell krävs för att förutse luftningsbehovet. Regleringsresultatet hänger strikt ihop med modellens korrekthet. Metoden lämpar sig väl där inflödesvariationen är stor eller snabbt varierande (Higgins, 2014).

3.6 Fördröjningar i styrdon

Regulatorerna ställer ofta om ett styrdon, till exempel öppnar en ventil. Styrningen ger i många fall inte omedelbart resultat i processen. Det finns olika slags fördröjningar. Två vanligt förekommande typer av fördröjningar är transportfördröjning och överföringsfördröjning.

Transportfördröjning är den tid det tar att flytta ett ämne, till exempel varmvatten i en rörledning. Det kommer inte genast varmvatten när en kran öppnas utan det kommer kallare vatten tills varmvattnet har transporterats ut till kranen. Överföringsfördröjning är en fördröjning som uppstår i exempelvis värmeväxlare eller upphettning med hjälp av en elvärmestav. Överföringsfördröjning beror bland annat på termiska egenskaper hos processutrustning och medier.

3.7 PLC

En PLC är ett system som fungerar som en dator dedikerad för en specifik uppgift. Den är konstruerad för kontinuerlig drift och används i processer som kräver konstant övervakning. En PLC är byggd utan rörliga delar och har i regel en god inkapsling. Det finns olika inkapslingsklasser i olika modeller beroende på i vilka miljöer de är tänkta att användas. Processens kringliggande utrustningar kopplas in till PLC:n med signalkablar. Hårdvaran i en PLC består i huvudsak av ingångar, utgångar, elförsörjning, processor och minnen. Exekveringen av applikationsprogrammen i en PLC är cyklisk, oftast kontinuerlig men även tids- eller händelsebaserad. Insignalerna läses in, programmet exekveras och signalerna till utgångarna uppdateras.

4. Styrproblem och utmaningar i reningsverk

Vid den tid som chipsfabrikens reningsverk byggdes var det ovanligt att tillämpa någon avancerad styrning. Då kördes systemen på schemalagd drift eller enligt det behov operatörerna märkte av. I dagens läge hör det till kutymen att man installerar PID-regulatorer eller avancerade regulatorer som möjliggör att maskiner körs enligt ett fördelat schema förutom enligt behov. Användningen av automatiska regulatorer förbättrar hela anläggningen genom att snabbare reagera på behov, förändringar, störningar, spara energi samt jämna ut slitaget på utrustningarna (Hamilton, Braun, Dare, Koopman & Svoronos, 2006).

Ju fler mätpunkter som används av automatiken desto mer avancerade styrningar kan man göra. Vid nybyggda anläggningar som hanterar bortskaffning av nitrat använder man nästan alltid aktiva givare för ammoniak- och nitratkoncentration. Övriga mätvärden som kan gynna styrningen är till exempel klorhalt, grumlighet, slamhalt och sedimentnivå. Miljön i reningsverk är skadlig för givare vilket gör ett underhållsschema för givare nödvändigt (Hamilton, m.fl., 2006).

Allt större och mer sofistikerade anläggningar och metoder är nödvändiga för avloppsvattenhantering för att få vattnet renat så att det kan återanvändas eller släppas ut. Kraven på utsläppen har även skärpts i och med att människan har märkt utsläppens miljöpåverkan. De flesta reningsverken använder någon form av aktiv slambehandling där naturligt förekommande mikroorganismer odlas i avloppsvattnet under förhållanden som optimerar konsumtionen av biologiskt nedbrytbart material i inflödet (Hamilton, m.fl., 2006).

Regleringsfrågor i reningsverk avser främst luftningsstyrning för att optimera energianvändningen samt för att uppnå processkrav. Det är viktigt att tillföra tillräcklig mängd syre samtidigt som man vill undvika överflödigt luftning och den kostnad som luftningen innebär trots fluktuerande inflödesförhållanden (Hamilton, m.fl., 2006).

Förr i tiden hanterade reningsverk vanligen endast avlägsnandet av organiskt material. I och med strängare utsläppskrav bör man även avlägsna näringsämnen så som kväve och fosfor i utsläppsvattnet. Detta kräver mer komplicerade processer som i sin tur ger upphov till fler moment att optimera och reglera. Näringsämnen omvandlas i olika takt beroende på reaktormiljö och processförhållanden. Cyklisk drift samt flerreaktormiljö används för avlägsnandet av näringsämnen (Hamilton, m.fl., 2006).

4.1 Avloppssystemet

Första steget i styrningen av reningsprocessen är styrningen av inflöde. Uppkomsten av avloppsvatten varierar över dygnets timmar. Liknande variation förekommer varje dag. Kraftiga regn ger även upphov till onormala förändringar och är svåra att förutse i och med att flera tankar ligger under bar himmel. Uppkomsten är som lägst när produktionen är som lägst, det vill säga nattetid. Nivåerna sjunker sakta efter stängning och stiger igen när produktionen återgår till full kapacitet. Även större störningar inträffar med tiden inom industrin, till exempel produktionsbehov, tillgång på råvaror samt semesteruppehåll, vilket ger upphov till anormala förhållanden i reningsverkets process som optimalt skall fortlöpa utan större börvärdesförändringar. Utjämning är en metod som används för att stabilisera inflödet. Till utjämningen kan man bygga utjämningsbassänger uppströms med reningsverket. Tillämpningen är vanlig inom industrin men räknas vara för dyr i kommunala anläggningar. En annan metod är att tillämpa existerande rör och pumpstationer som utjämningsmedier (Hamilton, m.fl., 2006).

I Kanada har The Quebec Urban Community lyckats implementera en optimerad förutseende avloppsvattenhantering som har varit i drift sedan år 1999. Styrsystemet beaktar inflödena från alla riktningar och där behovet är mest akut för stunden får högst prioritet.

Vid utformningen av systemet prioriterades följande:

- 1) minimera kombinerat överflöd i kanaler (alla inflöden beaktas).
- 2) maximera användningen av reningsverkets kapacitet.
- 3) minimera långvarig ackumulering.
- 4) minimera börvärdesvariation.

De har uppfyllt prioriteringskraven genom att styra flöden, flödets väg och nivåerna i avloppet. Andra städer går mot samma modell när man utvecklar avloppshantering (Hamilton, m.fl., 2006).

Det är naturligtvis en viss skillnad om man jämför kapaciteten på ett reningsverk i en flermiljonstad med reningsverket vid en industri. Även variationerna i uppkomsten av avloppsvatten borde skilja avsevärt i jämförelsen där industrin är mer förutsägbar.

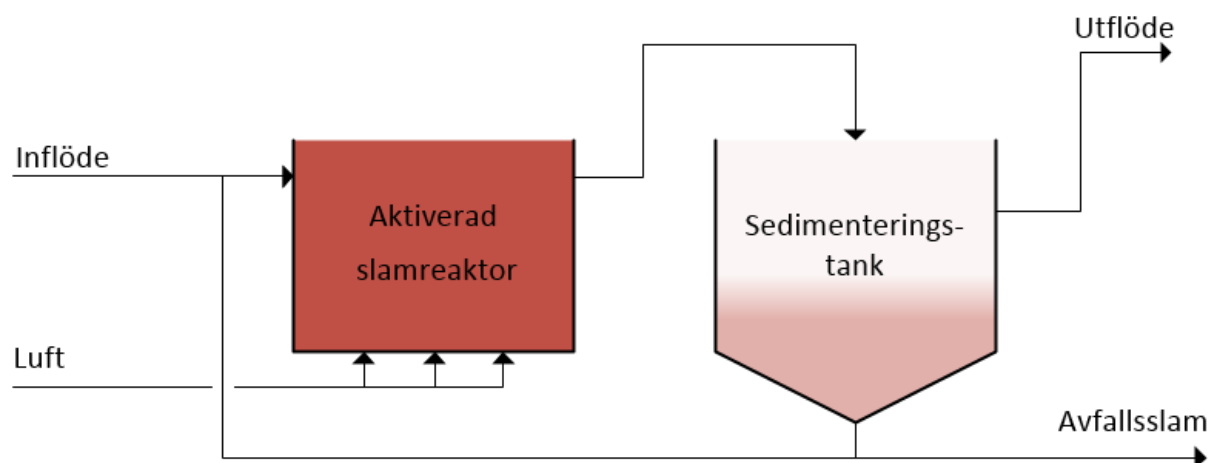
4.2 Aktiverad slamreaktor

När avloppsvattnet i Quebec når reningsverket blandas det upp i cirkulerande system och går in i olika bioreaktorer. Största delen av näringsinnehållet tas om hand av en blandning av naturligt förekommande mikroorganismer som frodas i avloppsvattnet. En del mikrober frodas i förhållanden med tillgängligt syre medan andra frodas i både anoxiskt förhållande (utnyttjar nitrat istället för syre som terminal elektronacceptor) och syrehaltiga förhållanden. Fastän olika anläggningar utnyttjar olika metoder och kombinationer av reaktorer, cirkulering och återcykler används frekvent, så finns samma grundbehov. Den främsta regeln som gäller är avlägsnandet av biokemiskt syrebehov; som är ett mått på mängden organiskt kol tillgängligt för att stödja mikrotillväxten. Därtill krävs avlägsnande av fosfor och kväve i allt större grad (Hamilton, m.fl., 2006).

Syrehaltiga förhållanden gynnar tillväxten av en mängd olika mikrober, bland annat heterotropisk bakterie, som tar bort biokemiskt syrebehov från avloppsvattnet samt bakterier som bryter ner ammoniak till nitrat. Luftning står för största delen av kostnaderna i reningsverk. Energikostnaderna för luftning kan uppgå till 50 % av ett reningsverks energikostnader. I USA vid Kanapaha Water Reclamation Facility i Gainesville i Florida uppgick energikostnaderna för luftningen till 75 % av den totala energikostnaden under ett år. Vid automatisering av luftningsstyrningen kunde man spara in 10 – 30 % av ett värde till 600 000 dollar per år tack vare undvikandet av överluftning (Hamilton, m.fl., 2006).

De flesta studierna som har gjorts inom avloppsvattenhantering är reglering av DO-koncentration på grund av luftningskostnader och luftningens stora inverkan på biomassatillväxt. Det är ett komplicerat problem på grund av att syrebehovet beror på anläggningens belastning och temperatur. Den mest använda styrningsstrategin är att styra luftningsströmmen för att reglera DO-koncentration, vanligen till ett konstant börvärde utan beaktad belastning. Högt DO gynnar bakterietillväxten, men leder till högre luftningskostnad. Högt DO kan även orsaka problem i kväveavlägsnande anläggningar när överlopps syre återcirkuleras till den anoxiska reaktorn (Hamilton, m.fl., 2006).

Vid Kanapaha reningsverket har man löst automatiseringen genom användningen av en dator med SCADA-funktionalitet. Man mäter syrehalten vid två punkter per aktiv slam bassäng. Man uppmäter även nitratkoncentration och koncentration av ammoniak. I SCADA-programmet har man en överblick över uppmätta värden samt procentuell användning av pumpkapacitet. Övriga variabler visas i nedre halvan av skärmen, som till exempel flödespumpar och status. Regulatorerna för pumparna är standard PID-regulatorer (Hamilton, m.fl., 2006). Järnklorid tillförs i inflödet till aktiverade slamreaktorn i dagsläget. Fördelarna tas upp i ett eget kapitel.



Figur 3. Olika flöden vid aktiverad slam och sekundär sedimenteringstank.

Vanliga styrmetoder i aktiverad slambehandling är följande:

- Konstant kvarhållningstid.
- Konstant förhållande mellan näringsmängd och mikroorganismmängd.
- Konstant nivå av uppblandade fasta partiklar.
- Konstant returnerad slamtilförsel (Konstant flöde eller returneringsförhållande).

Valet av styrmetod faller på:

- Aktiverade slambehandlingens effektivitet.
- Varierbarhet av mängd uppblandat organiskt material.
- Enkelhet att implementera.
- Operatörens önskemål.

I den aktiverade slamreaktorn på Orkla blandas tankens hela innehåll genom att lufttillförseln sker genom hela innehållet genom att det bubblar upp genom flera spridare i botten på tanken. Idealt bör mikrobkoncentration och biologiskt material och således syrebehovet vara jämnt på hela tankens volym. Nackdelen är att eftersedimenteringen fungerar sämre. Tillförseln av järnklorid gynnar dock sedimenteringen.

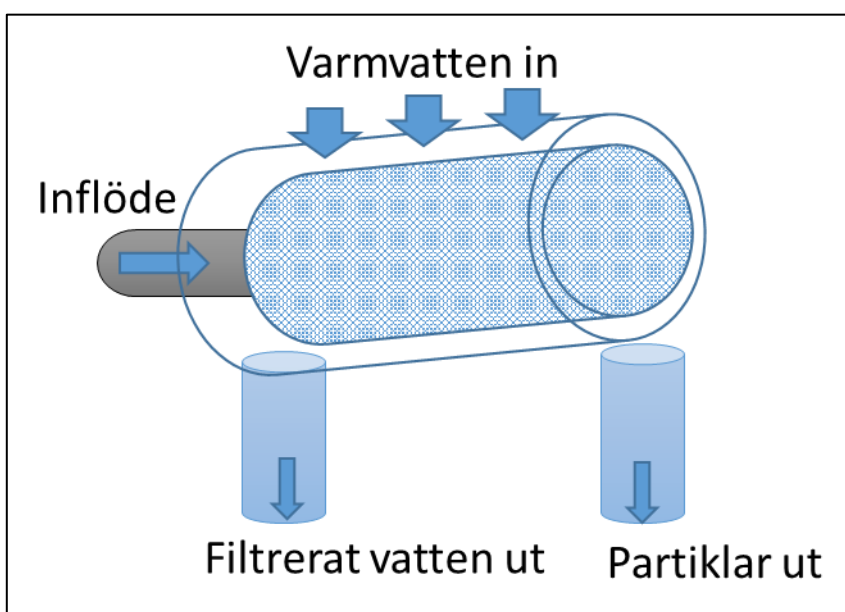
4.3 Filtrering

Filtrering innebär att man leder vätska genom en struktur med små hål som vätskan kan rinna igenom medan större partiklar hindras att passera igenom strukturen. Det kan vara antingen vätskan man vill åt eller partiklarna man vill ta till vara eller båda. Det går även att filtrera fasta partiklar i olika grovlekar, t.ex. vid sortering av sand, grus och sten i olika storlekar.

Avsikten med filtreringen i reningsverket på Orkla är att minska mängden fasta partiklar i avloppsvattnet. I första skedet i behandlingen filtreras de grövsta partiklarna bort. I slutskedet av vattenreningen körs vätskan genom ett sandfilter där de finaste partiklarna fångas upp.

4.3.1 Roto-Sieve

Grovfiltrering av avloppsvattnet sker som första steg när det kommer in till reningsverket genom att det inkommande avloppsvattnet körs genom ett trumfilter av modell Roto-Sieve. I filtreringen sållar man ut de grövsta potatisresterna och partiklarna i avloppsvattnet. Största delen av vätskan pressas ut och partiklarna (skalen) ansamlas i ändan av silen. Vätskan leds vidare till följande steg i kedjan.



Figur 4. Roto-Sieve.

Roto-Sieve är ett trumfilter som filtrerar ner till 0,6mm stora partiklar. Genom filtrering i det första skedet minskas driftskostnaderna för de övriga skedena i kedjan. Fördelarna med Roto-Sieve är:

- Låg energiförbrukning.
- Hög grad separering.
- Kan tillämpas inom flera olika områden.
- Separerar vätska och fasta partiklar.
- Lågt underhållsbehov.
- Löstagbara sidoplåtar vid behov av service.
- Reducerar kostnader i följande steg.

4.3.2 Sandfilter

Innan vattnet återanvänds så körs det igenom ett sandfilter som fångar upp de partiklar som rinner igenom från de övriga processerna. Sandfiltret är det sista steget i reningen. Det vatten som man får ut ur sandfiltret är så rent att det kan släppas ut eller återanvändas. Vattnet återanvänds i fabriken potatistvätt.

4.3.3 Styrproblem i filtreringen

Styrproblemen för filter är inte så många. Det är främst rengöringsbehovet som bör evalueras för att avgöra hur styrningen sköts.

I sandfiltret är det antingen enligt underhållsrutiner eller enligt tryckfall man ställer styrningen. De små partiklarna täpper så småningom till hålen i sanden så pass mycket att trycket sjunker mycket i filtrets botten där vätskan samlas upp.

I Roto-Sieve:n spolats det kontinuerligt med varmvatten under drift för att hålla trummans perforeringar öppna. Givare känner av nivån på den ansamlade högen av potatisrester och när det blir tillräckligt stor ansamling sätts matningsskruvar automatiskt igång som transporterar resterna till en silo. I silon rinner resterande vätska ner i en tank och återcirkuleras sedan till Roto-Sieve:n. Det fasta materialet som finns i silon transporteras sedan ut till en betongplatta för bortforsling.

Automatiken för transportskruvarna och återcirkulationspumparna styrs av en skild PLC. Skruvarna startas och går en viss tid när nivågivarna ger signal. Det finns tre givare för övervakning av nivån; två kontaktgivare som ger signal när massan vidrör dem. Vid normal funktion startar skruvarna när givare 1 ger signal men om det uppstår något fel finns givare 2 som reserv på en högre nivå. Givare 3 är en induktiv givare som fungerar som felsäkerhetsgivare ifall någon störning gör att nivån fortsätter att öka så att det börjar svämma över. Det är viktigt att bortforslingen av det filtrerade materialet fungerar för att Roto-Sieve:n skall fungera utan hinder.

4.4 Biobädd

Biobädd eller på engelska kallat "trickle bed reactor" eller "trickling filter" ingår i Orklas reningsverk. Biobädd används mycket i industrier som oljeraffinaderier och kemiska industrier. De används även mer och mer inom bioteknisk industri, speciellt reningsverk. Biobädden är fylld med ett medium i form av stenar eller plastkulor i syfte att öka kontaktytan i biobädden. Mikrober växer som en film på ytorna i biobädden och bryter ner upplösta näringsämnen i vätskan. Vätskan samlas i en tank och sprutas ut över toppen av biobädden så att den sedan rinner ner genom mediet och mikroberna bearbetar vätskan (Moulijn, Makkee & Van Diepen, 2013, s. 438 – 445).

Det finns olika typer av biobäddar. Den ena typen använder sten eller plaströr som medium för mikroberna att växa på. Luft krävs i processen och tillförs vanligen från botten av biobädden. Luftflödet sätts igång genom att luften värms upp av processens egenvärme och stiger genom naturlig konvektion. Nackdelen genom att luftflödet går motströms är att flödes hastigheten bör hållas tillräckligt låg så att inte överflöd och onödigt skum bildas i toppen. En annan typ av biobädd är en trestegs fluidiserad biobädd som använder sand som medium för bakterierna att leva på. Fluidiserad biobädd har högre energikostnad eftersom man konstant måste pumpa in luft underifrån som gör att sanden beter sig som en vätska, men man har även större kontaktyta. Äldre biobäddar har oftast sten som medium medan modernare oftast har plastmedium (Moulijn, m.fl., 2013, s. 438 – 445).

Styrparametrarna för en biobädd är få. Det är främst luftflödet och pumphastighet som går att styra. Vertikalbiobäddar med plast som medium täpps inte till lika lätt som stenmedium. Rotationshastigheten på spridaren går att styra. Genom att reglering av spridarens rotationshastighet kan man reglera spolningens intensitet. Genom att hålla en låg rotationshastighet får man högre spolningsintensitet. Fördelarna med hög spolningsintensitet ger bättre kontroll av biofilmens tjocklek, makrofaunakontroll och bättre vätnings effektivitet. I allmänhet kräver högre organisk last högre spolningsintensitet. Högre spolningsintensitet är vanligt att schemalägga dagligen eller en gång per vecka genom att sakta ner spridarens rotationshastighet till 60 min./ varv. Vanlig rotationshastighet är 4 – 10 minuter. Doseringsmängden regleras genom att kombinera regleringen av rotationshastighet och flöde till spridaren. Föreslagen doseringsnivå beroende på medium är 25 – 200 mm/ varv och vid spolning 100 – 600 mm/ varv. De flesta biobäddarna är konstruerade för avlägsnande av biokemiskt syrebehov och nitrifikation (Farmer, 2013).

Makrofauna i biobäddar kan störa funktionen. Sniglar har orsakat problem i många anläggningar. Sniglarna betar av biofilmen och ackumuleras i efterföljande processer. Om insekter tar sig in i bioreaktorn kan de lägga ägg på mediet och larverna betar av biofilmen. Biobäddar med högre organiska lastningshastigheter får normalt inte problem med sniglar (Farmer, 2013).

Möjligheten att återcirkulera flödet till biobädden kan användas för att öka syremängden eller säkra ordentlig vätning av mediet. Genom återcirkulering kan man säkra ett stabilt flöde genom biobädden under tider när uppkomsten av nytt avloppsvatten är låg, gynnar konstant spridarrotationshastighet och säkrar ordentlig vätning. Om vätningen är ojämn kan det uppstå torra områden som gynnar sniglar och flugor samt att biofilmen blir ineffektiv om den torkar ut. Som en tumregel är det föreslaget en vätning av $30 - 40 \text{ l/min} \cdot \text{m}^2$ för biobäddar konstruerade för avlägsnande av biokemiskt syrebehov och $30 - 80 \text{ l/min} \cdot \text{m}^2$ för nitrifikationssystem (Farmer, 2013).

För fartstyrda spridare, och med schemalagd spolning kommer vättningsnivån och återcirkulation i andra hand. Operatörerna bör hålla ett öga på samtliga kriterier men det är sannolikt att funktionen blir mest effektiv genom att göra upp ett bra doseringsprogram (Farmer, 2013).

4.5 Anoxisk reaktor

Reningsverk som strävar efter att avlägsna kväve har en anoxisk reaktor där denitrifiering pågår. I processen reduceras nitrat till kvävgas som utan fara kan släppas ut i atmosfären. I den anoxiska reaktorn finns det bakterier som lever i en helt syrefri miljö. Denitrifierande bakterier i reaktorn använder nitrat från den aeroba reaktorn. Återcirkulationsflödet utgör ett styrproblem. Det krävs tillräckligt snabb tillförsel av nitrat för att bakterierna skall frodas utan att det följer med för mycket upplöst syre. I en del anläggningar avlägsnar man mer kväve i en anoxisk reaktor efter den aerobiska reaktorn (Hamilton, m.fl., 2006).

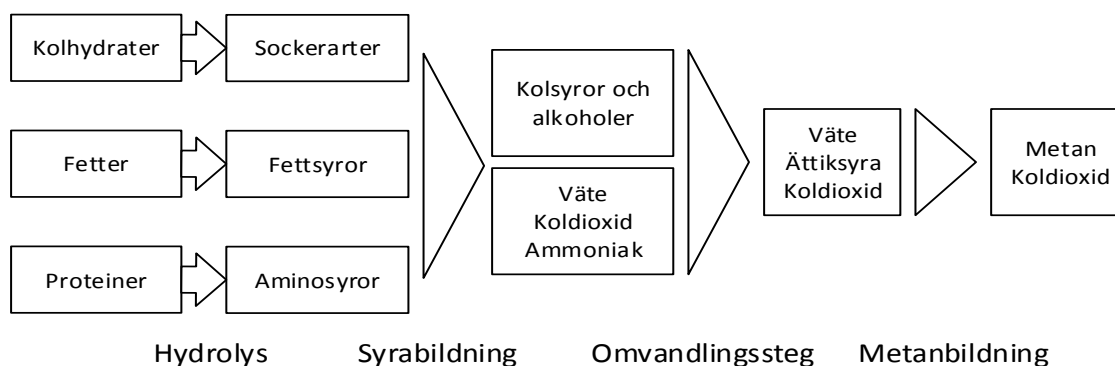
4.6 Rötkammare

I reningsverket har man i dagsläget en rötkammare. Det finns också planer på att bygga en till i framtiden.

Rötning är en anaerob biologisk nedbrytning av organiskt material, också kallat en biogasprocess. I rötningsprocessen utvinns metangas som kan utnyttjas som fordonsbränsle eller till uppvärmning genom förbränning. Kol frigörs som metangas som utgör 45 – 85 % och koldioxid 15 – 45 %. Dessutom bildas det svavelväte, ammoniak och kvävgas i små mängder. Rötningsprocessen är känslig för syre, temperaturväxlingar och surhetsgrad. pH-värdet bör ligga mellan 7 och 8 för att hålla mikroorganismerna vid liv. De metanbildande mikroorganismerna dör vid kontakt med syre.

Rötning förekommer även i naturliga miljöer som till exempel sjöbottnar där så gått som inget syre finns (Biogasportalen, 2014).

I röt-kammaren förekommer flera omvandlingar av ämnen. I nedbrytningsprocessen startar hydrolys av substratet. Olösliga kolhydrater omvandlas till lösliga varianter som andra bakterier kan använda. När sockerarter och aminosyror bryts ner uppstår det koldioxid, kväve, ammoniak och organiska syror. De organiska syrorerna bryts ner vidare till mer av ovan nämnda ämnen plus ättiksyra. Bakterier som avger metangas omvandlar ovan nämnda ämnen (Anaerobic digestion, 2015).



Figur 5. Röttningsprocessens skeden.

4.7 Sekundär sedimenteringstank

Efter behandlingen i aktiverad slamreaktorn finns det ännu mycket slam uppblandat i vätskan. Vätskan leds vidare till en sekundär sedimenteringstank. I sedimenteringstanken sjunker mikrobklumpar och andra partiklar till botten och bildar en slamfilm, d.v.s. man utnyttjar separation med hjälp av tyngdkraften. Vartefter partiklarna sjunker undan lämnar klart vatten utan större mängd partikelinnehåll på ytan.

Det klara vattnet leds vidare till ett filter. Bottensedimentet avlägsnas fortlöpande genom ett hydrauliskt utdragningsystem. Aktiva sensorer övervakar höjden på sedimentlagret som operatörerna eller styrsystemet använder sig av för att reglera återflödet till bioreaktorerna. Ifall återcirkuleringen av slammet är för långsam så kan sedimentlagret bli så pass högt att det börjar svepas med klarvattnet till filtren. Ifall flödet är för högt kan det orsaka turbulens i tanken som gör att sedimentet blir för löst och utspädd och tar ner på sedimenttänkens effektivitet.

En bråkdel av bottensedimentet återcirkuleras till den aktiverade slam bassängen i syfte att styra kvarhållningstiden av fastapartiklar i bassängen som i sin tur styr mikrobtiltväxten. Kvarhållningstiden av fasta partiklar har således en betydande roll i reningsverkets dynamik. Ett mål för styrningen är att pumpa slammet till nedbrytningsbassängen när slamkoncentrationen är som högst för att maximera hydraulisk kvarhållningstid i nedbrytningskärnen. Således minskas också den hydrauliska belastningen (Hamilton, m.fl., 2006).

Inflödesstyrning till de sekundära sedimenteringstankarna kan motiveras för att undvika att sedimentfilmen rörs upp. Plötsliga förändringar i inflödet kan nämligen orsaka att sedimentfilmen rörs upp. Rörs slammet upp så kan det leda till att klarvattnet grumlas och det leder till att filtren täpps till. Vid Kanapaha Water Reclamation Facility har man valt att installera automatisk styrning med PID-regulatorer för styrningen av flödesförhållandet mellan sekundära sedimenteringstankarnas utflöde och återcirkulation av slam. Tack vare styrningslösningen för den här processdelen sparar man årligen tusentals dollar i pumpkostnader. Styrningen eliminerar också risken för att sedimentfilmen skall lösgöras och täppa till filtren (Hamilton, m.fl., 2006).

4.8 Separation

Separation är en av de vanligaste enhetsoperationerna i processindustrin. Vid separation skiljs någon komponent ur uppblandning.

Blandningen som separation görs på kan bestå av:

- Fast ämne -vätska (uppslamning, suspension).
- Fast ämne - gas (t.ex. rökgas, damm).
- Fast ämne – bindämne (malmpulver).

De viktigaste metoderna vid separation ur en vätska är:

- Separation med hjälp av tyngdkraft (förtjockning, klarifiering).
- Filtrering.
- Slungning.

Vid reningsverket på Orklas chipsfabrik använder man sig av både separation och filtrering.

4.8.1 Förtjockning och klarning

I förtjockningsprocessen vill man få uppblandat slam att falla ur uppblandningen med hjälp av tyngdkraften. När slammet faller ur får man två separata ämnen som ligger i skikt ovanpå varandra. Resultatet blir att slammet med största delen av det fasta ämnet sjunker ner till botten av kärlet medan det skikt som ligger ovanpå är nära på fritt från fasta ämnen.

Enligt förtjockningsmetoden får man ta tillvara de fasta ämnena skilt från resten av uppblandningen. Förtjockningen (slammet), med största delen av de fasta ämnena, tas ut från botten av kärlet medan klarningen (vätskan) tas ut i kärlets övre del.

En del av de uppblandade partiklarna är mycket små vilket gör att de sjunker väldigt långsamt. En grundåtgärd för att snabba upp sedimenteringen är flockulering av partiklar. Tack vare flockulering grupperar partiklarna sig i så kallade flocker.

Förtjockningen påverkas av olika faktorer. Flockernas sjunkning i en vätska sker enligt Stokes lag. Flockernas sjunkningshastighet stiger när:

- Koncentrationen av fast ämne växer.
- Grovleken på det förtjockade fasta ämnet växer.
- Flockernas täthet växer.
- Flockens storlek växer.
- Uppslamningen i fluiden minskar.

På förtjockning och klarning med hjälp av tyngdkraften inverkar i huvudsak följande:

- Uppslamningens flockuleringsläge.
- Slamkoncentration.
- De fasta partiklarnas sjunkningssätt.
- Uppblandningens mekaniska blandning.

Många uppblandningar bildar flocker naturligt. Flockuleringen kan snabbas upp med hjälp av tillsats av ämnen som bidrar till flockuleringen (flockulanter, klarmedel). Flockulanternas verkan grundar sig på att olika joner, speciellt katjoner(+), fäster sig på negativt laddade ytor och förändrar ytskiktets elektriska egenskaper. Med hjälp av flockulanter möjliggörs filtrering av partiklar som annars inte går att filtrera. Flockulanterna tillförs vanligen strax innan filtreringen.

4.8.2 Järnklorid som klarmedel

Vid Orkla används järnklorid i syfte att minska odörer och som klarmedel. Järntriklorid används för att rena vatten, främst för rening av avloppsvatten men även för rening av dricksvatten och produktion av processvatten (Järn(III)klorid, 2014).

Genom att öka doseringen över den dosering som krävs för avlägsningen av sulfider reagerar järnklorid med syre och ger järnhydroxid som fungerar som flockulant. Det resulterar i förbättrad sjunkningshastighet av uppslammade partiklar. Järnhydroxiden som bildas finns i slammet och reagerar med sulfider som uppkommer senare i processen (California Water Technologies, 2011).

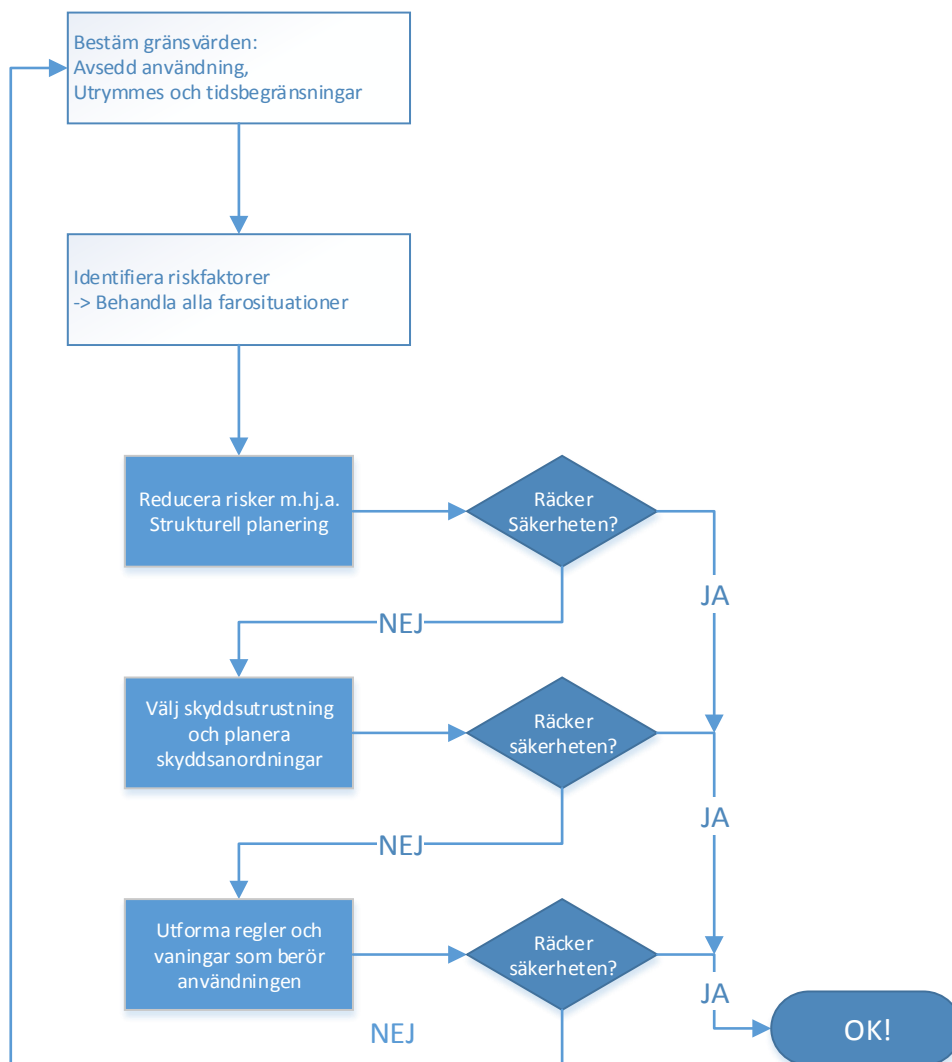
Järntriklorid är frätande och surt samt har kraftigt uttorkande verkan. Det är få människor som uppges ha blivit förgiftade av ämnet. Vid förtäring är ämnet dödligt. Förpackningarna bör vara noggrant märkta så att ämnet inte misstas för något annat. Det är viktigt för behandling av en förgiftad person att orsaken upptäcks så snabbt som möjligt. I övrigt är järnklorid nyttigt i processen eftersom ämnet avlägsnar giftiga ämnen så som sulfider (Järn(III)klorid, 2014).

4.9 Avvattning

Sediment från de olika sedimenteringstankarna samt rötresten avvattnas i syfte att minska slamvolymen. Centrifuger eller pressar används vanligen till avvattningen. I Orklas reningsverk används centrifuger. Genom centrifugerna distribueras en polymerlösning. Rejektvattnet från centrifugerna förs in i reningsprocessen igen, nämligen i aktiverade slamreaktorn. Det avvattnade slammet kan användas som gödsel ifall tungmetallhalten är låg. Går slammet inte att använda som gödsel så deponeras det eller förstörs genom förbränning (Reningsverk, 2015).

5. Säkerhet

Redan i planeringskedet av en anläggning bör man tänka på säkerhetsaspekterna så att man kan utföra arbete och röra sig säkert inom anläggningen. Farliga områden bör man till exempel spärra av med stängsel och grind eller med en optisk barriär som stänger av maskineriet då någon passerar medan maskineriet körs.



Figur 6. Tillvägagångssätt vid säkerhetsplanering i automatiska anläggningar.

Med tanke på arbetsskyddet hör det till att man tänker sig vad som skulle kunna hända i värsta fall. Förutseende tänkande i arbetsrutinerna är viktigt. Till exempel på en byggarbetsplats där det finns ett ofärdigt hisschakt eller hål i golvet bör man vidta åtgärder så att ingen faller och skadar sig. I sådana fall gäller det att personalen utbildas så att de förstår att man bör täcka för hålen under byggskedet. Sådan utbildning får man när man går arbetsskyddskurs. Vidare utbildning ges av arbetsledaren för varje arbetsplats. Arbetsledaren kontrollerar att varje arbetare instrueras om säkerhetsrutinerna och arbetarnas utrustning granskas. I olika utrymmen kan det behövas olika skyddsutrustningar som skyddsskor, hjälm, andningsskydd och hörselskydd.

På samtliga arbetsplatser kan det ske olyckor. Vissa branscher är farligare än andra. Automatiska system är utvecklade bland annat för att minska farligheten i en anläggning genom att maskiner utför det farliga arbetet. Samtidigt kan automatiska system orsaka olyckor om säkerhet och risker inte beaktas tillräckligt i utformningen av automationssystemet. Driftsäkerhet, personsäkerhet och ekonomi är kanske de största orsakerna till automationsteknikens utveckling.

5.1 Arbetarskydd på arbetsplatsen

Arbetsgivaren ansvarar för allt arbetarskydd på arbetsplatsen. Arbetsgivaren är skyldig att vidta nödvändiga säkerhetsåtgärder för att säkerställa arbetstagarnas säkerhet och hälsa i arbetet enligt arbetarskyddslagen. Det som bör beaktas är arbetsförhållanden och arbetsmiljön samt arbetarnas utrustning. Använder man till exempel skyddssele i arbetet så bör man se till att de besiktigas så att de uppfyller kraven för säkerhetssele. Redan i planeringsskedet skall man ta i beaktan vilka risker som kan förekomma (Arbetarskyddsverksamheten på arbetsplatsen, 2013).

Man bör hela tiden ge akt på vilka risker som kan finnas på arbetsplatsen. Upptäcks någonting som kan ses som en risk så bör detta åtgärdas snarast möjligt för att förebygga olyckor och hälsorisker (Arbetarskyddsverksamheten på arbetsplatsen, 2013).

Arbetsgivaren informerar arbetarna om de gällande rutinerna. Arbetstagaren är i sin tur skyldig att meddela sin överordnade ifall han upptäcker brister i rutinerna eller något annat bristfälligt (Arbetarskyddsverksamheten på arbetsplatsen, 2013).

Arbetsgivaren utser en arbetsskyddschef för att sköta arbetsskyddssamarbetet på arbetsplatsen om han inte själv sköter uppgiften.

Vid arbete vid reningsverk är hygien och skydd mot kontakt med farliga ämnen viktigt. Det förekommer flera olika bakterietyper i ett reningsverk varav en del kan orsaka infektioner. Farligheten på ett industriellt reningsverk är av en annan klass än vid ett kommunalt reningsverk men samma försiktighet gäller ändå. Händerna skall alltid tvättas noga, speciellt innan hantering av mat eller dryck. Gummihandskar bör användas vid hanteringen av avloppsvatten; sår i huden leder lätt till en bakterieinfektion.

Vid hantering av frätande kemikalier bör man tänka noga på säkerheten. Vid spill av sura kemikalier samlas kemikalierna upp i kärl som tål frätande ämnen och området tvättas med rikliga mängder vatten. Spill på arbetsbänkar skrapas ihop och sköljs bort med vatten. Om man själv kommer i kontakt med syror bör kroppen som varit i kontakt med ämnet sköljas noggrant. Syror som kommer i ansiktet sköljs bort med rikliga mängder vatten och anmäls åt föreståndaren. Vid kontakt med ögonen, skölj med ögonsköljningsvätska i minst 15 minuter och sök därefter omedelbart vård. Syra blandas alltid i vatten, inte tvärtom.

Basiska ämnen är också frätande och samma procedur gäller som för syror. Över arbetsbänk spillda baser sköljs med rikliga mängder vatten tills den hala känslan har försvunnit. Andningsskydd är viktigt att använda vid hantering av ammoniumhydroxid på grund av dess starka irritationsverkan på ögon och lungor.

Elsäkerhet bör beaktas där det finns elektisk utrustning. De som arbetar på reningsverk bör ha respekt för elens livshotande fara. På grund av att elapparater finns överallt i dagens läge inser man inte lika lätt hur farligt det kan vara. De som arbetar med el har fått nödvändig utbildning för att korrekt handskas med elektriska apparater. De som arbetar på reningsverk utsätts dagligen för elektriska utrustningar och faror relaterade till dessa. Därför bör säkerhetsansvariga se extra noga till elsäkerheten. Alla arbetare bör undervisas i säker hantering av den utrustning som finns i anläggningen. Man bör känna till farorna med elektricitet: stötar, brännskador, bränder, explosionsrisk och ljusbågsfara nära högspänningsanordningar. Högspänningsfara bör märkas ut med varningsskyltar. Explosionsfarliga utrymmen är gnist- och värmekänsliga och behöver skild märkning. Orsaker till elolyckor är en kombination av felprocedurer: osäker utrustning, utrymme, metod och utrustningsinstallation kan samtliga leda till elstöt eller värre. Vid tecken på farosituation bör arbetet snarast avslutas och felet anmälas och åtgärdas av kunnig personal innan arbetet kan fortgå. Skyddsanordningar bör vara inkopplade i alla lägen: överströmsskydd, felströmsskydd, kontaktorer, skyddsräcken och skyddsjord (Spellman, 1996).

Vidta följande åtgärder för att förhindra elolyckor:

1. Identifiera och märk ut alla elfaror.
2. Utbilda personalen i elsäkerhet.
3. Använd säkra arbetsmetoder, bland andra:
 - Se till att kretsen är bruten och spänningslös innan inspektion och reparation av elektrisk utrustning.
 - Se till att verktygen är i gott skick.
 - Använd sunt förnuft i närheten av aktiva ledare.
 - Använd rätt skyddsutrustning (hjälm, skyddsskor, handskar m.m.).

Rätt säkerhetsprocedur bör vid samtliga tillfällen beaktas. Följande säkerhetsprocedurer borde införas inom hela anläggningen:

- Noggrann personlig hygien.
- Arbetskläder: skyddshjälm, skyddsskor och handskar.
- Ordentlig ventilering av täckta tankar.
- Förbud rökning nära anläggningen.
- Beakta tomma tankar som inkapslade utrymmen och vidta rätt procedur vid arbete i tank.
- Håll samtliga luckor stängda och säkrade.
- Håll samtliga utrymmen och tankområden väl upplysta.
- Håll perronger och gångar fria för att förhindra fallolyckor.
- Tillhandahåll avstängning för samtliga elektriska utrustningar, portar och ventiler vid arbete i tomma tankar.

Mellan de öppna tankarna finns det perronger man kan röra sig längs. Perrongerna är kantade med skyddsräcken för att minska risken att falla i någon av bassängerna. Luftningsbassängen är speciellt farlig eftersom strömmen av luftbubblor genom vätskan gör att man saknar flytkraft om man faller i.

5.2 Säkerhet i automatiska system

Riskerna som förekommer med automatiska system är flera. Det gäller för den som rör sig inom ett område med automatiska maskiner att känna till att maskinerna i omgivningen kontrolleras av ett automatiskt styrsystem. Det innebär att maskiner, pumpar, fläktar m.m. plötsligt kan starta.

Den som arbetar på en anläggning där det förekommer automatisk utrustning bör bli informerad om skyddsåtgärderna inom anläggningen innan han börjar arbetet. Säkerhetsansvarig personal ser till att de som rör sig inom anläggningen får den information de behöver. De blir informerade om vilken personlig skyddsutrustning som skall användas (hörselskydd, skyddsskor, hjälm m.m.). De bör även informeras om procedurerna vid underhåll av maskiner (se till att de inte kan starta m.m.).

Skyddsåtgärderna kan variera i olika utrymmen inom en anläggning. Där ljudnivån är hög bör man bli uppmanad att använda hörselskydd innan man passerar in till utrymmet. Varningsskylt sättes upp vid ingången. Varningsskyltar för specifika maskiner är en annan bra skyddsåtgärd. Vid skruvar t.ex. varning för klämrisk, explosionsfarliga utrymmen märks med explosionsfara, varning för halkrisk där det kan bli vått o.s.v. Utrymmen där det finns maskiner som kan starta automatiskt bör märkas ut med en varning "Fara, automatisk maskineri. Maskinerna kan starta utan förvarning". Det finns även möjligheten att förbättra säkerheten genom att installera alarm som ljuder innan en maskin startar. Det är också möjligt att sätta upp LED-displayer som visar en nedräkning för timerstyrd utrustning.

Strömmen kan brytas manuellt till maskiner vid servicearbete. Det går att låsa kontakterna i av-läge.

5.3 Driftsäkerhet

Anläggningens olika processer utgör ett system där de olika processerna samverkar. För att säkra kontinuerlig drift krävs det vissa förberedande åtgärder.

I planeringsskedet beaktas vad som kan gå fel i systemet. För varje fel skall det utformas en åtgärdsprocedur. Det lönar sig att hålla slitagedelar i lager så att delarna snabbt går att förnya när det krävs. Underhållsrutinerna för de olika maskinerna bör man hålla koll på så att reservdelar köps in i god tid innan underhållet utförs.

I samband med olika underhållsmoment kan det bli nödvändigt att köra ner några av systemets delar till stopp. Minst påverkan på de övriga processerna uppnås genom att utföra arbetet på en sådan tid när belastningen är som minst. Är en process känslig för störningar kanske det går att köra ner verkningsgraden medan underhållsarbetet utförs så att det går snabbare att köra upp den igen jämfört med att köra ner den till stopp. Strömmen är kopplad via kontaktorer till olika maskiner och strömmen går att koppla från manuellt vid underhåll. Det är en faktor som går att beakta i utformningen av styrsystemet så att styrsystemet vet när en kontaktor är avslagen.

Enhetlig utrustning underlättar i underhållsrutinerna. Färre olika reservdelar kan lagerhållas genom användning av enhetlig utrustning. Går en del sönder så måste den bytas ut. Är samtliga av samma fabrikat, så är sannolikheten att konstruktionen är lika och därmed enklare att underhålla när kännedomen finns.

6. Sprinklersystem

I fabriken har man byggt sprinklersystem för brandskydd. Om det blir tillräckligt varmt aktiveras sprinklersystemet som kylv ner omgivningen och släcker öppna lågor genom att sprida ut en vattendimma från sprinklern. I sprinklersystemet finns det alltid vatten under högt tryck.

Brandlarmsystemet har egen styrning och brandlarmet aktiveras ifall röksensorer eller någon annan givare ger signal. Vattenfyllda sprinklersystem är vanligast och kan tillämpas där vattnet inte kan frysa eller koka. I vattenfyllda system är larmgivaren ungefär som en envägsventil som hålls stängd så länge trycket är högre i sprinklerledningen jämfört med matningsledningen. Ifall sprinklerledningens tryck sjunker så börjar vatten rinna genom larmventilen och alarm-mekanismen aktiveras samt alarm sänds till fastighetens brandcentral samt larmcentralen. Systemet kan alltså även aktiveras i fall att någon ledning går sönder eller trycket annars sjunker för lågt i sprinklerledningen vilket resulterar i att vatten sprutar ut där läckan har uppstått. Trycket i sprinklerledningen är vanligen 1,5 – 2 bar högre än i matningsledningen. Trycket kan sjunka i ledningen vid exempelvis luftning så man har felskyddspump på systemet som pumpar vatten från matningsnätet till trycksidan så att nödvändigt tryck uppnås. Felskyddspumpen är manuellt styrd så man kan upptäcka läckage vid besiktning av sprinklersystemet.

I torra sprinklersystem är rören fyllda med antingen tryckluft eller gas. Trycket i systemet är vanligen 2,5 – 3,5 bar. Torra sprinklersystem lämpar sig där vatten skulle kunna frysa eller koka. I små kalla utrymmen med maximi 20 sprinklers kan ett torrsystem ersättas med att blanda i frostskyddsmedel i systemet.

I ett sprinklersystem som sprider vattnet i form av en dimma används ett högre tryck. Fördelarna med detta är att dropparna är mycket mindre, kylningseffekten är bättre och vattenmängden som krävs är mindre. Dimman släcker bättre jämfört med äldre sprinklers med lägre tryck där dropparna är större. Större droppar hinner inte förångas innan de når marken och dimma tar mer plats och höjer trycket så att syretillförseln till elden hindras bättre.

6.1 Lagar och bestämmelser

Vid planering, installation samt underhåll av sprinklersystem följer man vissa regler. Standarderna som används i Finland är SFS 12845 +A2 samt för bostadssprinklersystem speciellt SFS 5980. Utöver dessa används allmänt CEA 4001:2007 -06 (fi) – regler. Officiellt i Finland bör SFS standarder användas eftersom de är officiella och godkända standarder.

I Finlands lag finns det även bestämmelser för sprinklersystem. Dessa bestämmelser finns skrivna i samlingen för byggnadsbestämmelser i delarna E1, E2 samt E4.

6.2 Vattenkällor

Vattenkällan för sprinklersystemet skall klara av försörjningen vid bestämt tryck för systemet. Utan beaktan av volymen på den trycksatta delen skall vattnet räcka till under tiden (beroende på system):

- Låg faronivå 30 min
- Normal faronivå 60 min
- Hög farorisk. Processmaterial med hög brandfara 90 min
- Hög farorisk. Lagermaterial med hög brandfara 90 min

6.3 Sprinklersystemet och reningsverket

I fall sprinklersystemet löser ut är det tänkt att vatten från speciella tankar skall användas som släckningsvatten. Det är även tänkt att vatten från reningsverkets tankar skall kunna tillämpas som släckvatten i sprinklersystemet. Det finns två pumpar som fungerar som brandsläckningspumpar med vattnet i reningsverket.

Eftersom systemet redan existerar och är designat för fabriken återstår mest styrningsfrågor. Anläggningens skick och underhållsrutiner bör granskas för att säkerställa att systemet fungerar och att utrustningen är i gott skick. Eftersom brandskyddssystemet har en egen styrcentral kommer den centrala delen av styrningen gälla att upprätthålla en vattennivå som räcker till att försörja sprinklersystemet med nödvändig mängd vatten.

En sprinkler sprider upp till 95 liter i minuten. I 90 % av fallen löser endast en sprinkler ut (Rapid response, home owners guide, 2014).

7 Sammanställning av resultat av förstudien

Under arbetets gång har jag sökt fram så mycket information som möjligt vad det gäller automatisering och existerande lösningar för reningsverk i dagsläget. Genom att studera hur bra olika lösningar som är i bruk fungerar och samla de lösningar som har gett förbättrat resultat har jag strävat till att finna de bästa metoderna som går att tillämpa.

Varje delprocess har behandlats i ett eget kapitel. Noggrannare behandling av säkerhetsåtgärder och utrustning hittas i de olika kapitlen.

8 Slutsatser, rekommendationer och utvärdering

Fördelar och rekommendationer och grundfunktion i reningsverkets olika processdelar har behandlats i olika kapitel. Det finns många olika tillvägagångssätt när det gäller systemutformningen av reningsverk. Grundmodellen är till stor del samma för de flesta större reningsverk med förbehandling, biologisk behandling, avancerad behandling och avfallshantering. Orklas reningsverk är en existerande anläggning som har byggts ut och ändrats om enligt behov under årens lopp och liknar till stor del andra existerande reningsverk till helheten sett. Det är inte tänkt att systemutformningen skall förändras i detta arbete, utan målet är att bygga upp ett modernt styrsystem med så hög grad av automation som möjligt för att underlätta arbetsmoment och öka effektiviteten.

Lösningarna som har behandlats i förstudien är till största delen baserade på metoder som bevisligen har ökat effektiviteten i tidigare automatiseringsprojekt i andra anläggningar.

Regleringsmetoderna i anläggningens olika processdelar är valda med möjlighet till automation i beaktande. Arbetarskyddet har behandlats bland annat genom inspektion av anläggningen och de brister som har upptäckts har anmärkts.

Aktiverade slamreaktorn är den processdel som ger störst inbesparning i längden genom effektivisering av luftningen. Det torde vara en lönsam investering att installera givare för syreinhåll, ammoniak och nitrat i luftningstanken. Även flödesövervakning och slammängd bidrar till bättre övervakning och förutseende styrning av processen. Exempelvis i USA vid Kanapaha Water Reclamation Facility i Gainesville i Florida kunde man spara 10 – 30 % i energikostnader tack vare väl optimerad luftning.

Anläggningspersonalen har önskat få bättre övervakning av centrifugerna på grund av att det fasta avfallet ibland har blivit för löst. Som förslag har de gett installation av övervakningskamera. Jag anser att en lämpligare lösning är att gå till botten med vad som orsakar problemet för att undvika att det uppkommer i framtiden. Problemet ligger troligen i felaktig polymerdosering.

Polymerdoseringen kan kontrolleras genom att mäta partikelinnehållet i slammet som körs till centrifugerna både innan det pumpas in och efter centrifugen. Ett tilläggssteg kunde vara lämpligt att installera vid behov innan centrifugerna i form av ett föravvattningsfilter.

Jag föreslår att man tillämpar liknande prioriteringsmodell som i Quebec (kap. 4.1) i mån av möjlighet vid utvecklingen av styrsystemet på Orkla med motivationen att man uppnår större grad av kontroll samt kan optimera processernas effektivitet. Man uppnår ävenledes bättre ekonomi i och med lägre energiförbrukning tack vare jämnare flöden. Det skulle även vara skäl att analysera nyttan med en extra utjämningstank eller om existerande tankar räcker till i

samma syfte. Som motivering nämner jag att det ibland har skett översvämningar nere i fabriks hallarna på grund av störningar i reningsverket; åtgärder är av hög prioritet. Precis och tillförlitlig nivåmätning är essentiellt.

Följande brister upptäcktes i samband med inspektion av anläggningen:

- Försedimenteringsbassängens skyddsräcke inkomplett.
- Det fanns risk att fastna i matarskruvar.
- Lös utrustning fanns på en del ställen.
- Serviceluckorna i pumphuset i biobädden var inte fastskruvade, fast de var konstruerade att vara säkrade med skruvar.

Förbättringsförslag för nämnda brister:

- Komplettera skyddsräcket, eventuellt med öppningsbar grind vid behov. Använd skyddssele vid vistelse utanför skyddsräcket på grund av halk- och fallrisk.
- Komplettera de lättåtkomliga matarskruvarna med skyddsluckor. Använd eventuellt ett finmaskigt skyddsgaller i stället för en plåt för att möjliggöra inspektion och rensolning med vatten utan borttagning av skyddet. Märk samtliga skruvar med varning för klämrisk.
- Förvara lös utrustning på förbestämd plats för att minska risken för fallolyckor.
- Betona återställningen av utrustning som har använts, till exempel att genast stänga serviceluckor när man avlägsnar sig.
- På grund av sprinklersystemets ålder är det värt att inspektera alla sprinklersystemets delar så att de uppfyller sin funktion. Det är värt att en sakkunnig utför inspektionen.

Källförteckning

Aittomäki, E., Eerikäinen, T., Leisola, M., Ojamo, H., Suominen, I. & von Weymarn, N., 2002. *Bioprosessiteknikka*. Borgå: WS Bookwell Ab.

Anaerobic digestion, 2015. [Online] http://en.wikipedia.org/wiki/Anaerobic_digestion [Hämtat: 2.4.2015].

Arbetskyddsverksamheten på arbetsplatsen, 2014. [Online] <http://www.tyosuojelu.fi/se/arbetskyddsverksamheten> [hämtat 30.10.2014]).

Biogasportalen, 2014. *Rötning*. [Online] <http://www.biogasportalen.se/FranRavaraTillAnvandning/Produktion/Rotning> [Hämtat 21.02.2015].

California Water Technologies, 2011. *The Control Of Hydrogen Sulfide Odors*. [Online] <http://www.californiawatertechnologies.com/pdf/OdorBulletin.pdf> [Hämtat: 7.1.2015].

Emerson Process Management, 2009. *Dissolved Oxygen Measurement in Wastewater Treatment*. [Online] http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Rosemount%20Analytical%20Documents/Liq_ADS_4950-01.pdf [Hämtat: 9.4.2015].

Farmer, G., 2013. *What every operator should know about trickling filters*. WE& T [Online] <http://www.wef.org/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=12884903449> [Hämtat: 2.4.2015].

Grahm, L., Jubrink, H-G. & Lauber, A., 2008. *Modern Industriell Mätteknik – Givare*. Sverige: Holmbergs i Malmö AB.

Hamilton, R., Braun, B., Dare, R., Koopman & Svoronos, A.S., 2006. *Control Issues and Challenges in Wastewater Treatment Plants – Conserving Energy and Improving Performance*. *IEEE Control Systems Magazine*, 8, s.63–69.

Higgins, P., 2014. *Myths and Realities: Ammonium Based Aeration Control in Wastewater*. [Online] <http://blog.ysi.com/blog/bid/195029/Myths-and-Realities-Ammonium-Based-Aeration-Control-in-Wastewater> [Hämtat: 9.4.2015].

Järn(III)klorid, 2014. [Online] [http://sv.wikipedia.org/wiki/J%C3%A4rn\(III\)klorid](http://sv.wikipedia.org/wiki/J%C3%A4rn(III)klorid) [Hämtat: 8.12.2014].

Moulijn, J., Makkee, M. & Van Diepen, A., 2013. *Chemical Process Technology*. Malaysia: Vivar Printing Sdn Bhd.

Mountain Empire Community College. *Measuring Dissolved Oxygen (DO)*. [Online] <http://water.me.vccs.edu/concepts/domeasure.html> [Hämtat: 9.4.2015].

Pihkala, J., 2011. *Prosessitekniikka – Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit*. Tammerfors: Juvenes Print.

Rapid response, home owners guide, 2014. [Online] <http://www.tyco-rapidresponse.com/home-owners/faqs> [Hämtat: 30.10.2014]).

Reningsverk, 2015. [Online] <http://sv.wikipedia.org/wiki/Reningsverk> [Hämtat: 13.3.2015].

Spellman, F., 1996. *Safe Work Practices for Wastewater Treatment Plants*. USA: CRC Press.