



Nr C 497
Februari 2020

Att tänka på vid genomförande av tester för växtnäringsåtervinning från avloppsströmmar

Sofia Lovisa Andersson, Catharina Grundestam, Jesper Karlsson, Christian Baresel, Andriy Malovanyy, Anders Björk

Författare: Sofia Lovisa Andersson, Catharina Grundestam, Jesper Karlsson, Christian Baresel, Andriy Malovanyy, Anders Björk, IVL Svenska Miljöinstitutet

Medel från: Svenska Näringsplattformen

Fotograf: IVL

Rapportnummer C 497

ISBN 978-91-7883-154-8

Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2020**

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

Innehållsförteckning

Inledning	4
Definitioner	4
Förutsättningar för en framgångsrik testmiljö	5
Tekniska förutsättningar	5
Organisatoriska aspekter	6
Drift av en testbädd	7
Övergripande drift	7
Byggnation av en pilotanläggning	8
Databehov för utvärdering av försök	10
Att tänka på	11
Framtagande av en försöksplan	12
Tidsplan	13
Riskanalys	13
Vad kostar?	13
Tips på vidare läsning	14

Inledning

Denna rapport är framtagen inom ramen för Näringsplattformen och syftet har varit att sammanställa vad som är viktigt att tänka på vid genomförande av tester för växtnäringsåtervinning från avloppsströmmar och vad en testbädd bör erbjuda.

Den typ av tester som beaktas är pilotskaleförsök och texten sammanställer erfarenheter och tips för denna typ av försök. Erfarenheterna kommer huvudsakligen från byggnation, drift och utvärdering av pilotanläggningar avsedda för industri eller VA-verksamhet. En viktig utgångspunkten har varit erfarenheter från forsknings- och demonstrationsanläggningen Hammarby Sjöstadsverk. Sammanställningen är skriven i generella termer och råden kan anses gälla både för tester av växtnäringsåtervinning från avloppsströmmar men även för andra tester relaterade till kommunalt eller industriellt vatten.

Definitioner

Ett pilotförsök innebär experiment eller försök i mindre skala för att testa sin idé/process och skaffa erfarenheter innan uppskalning till fullskala. Pilotförsök räknas som större skala än laboratorieskala där det är möjligt att skapa mer verkliga förhållanden och skapa förutsättningar som likar de vid fullskala.



En testbädd är i detta sammanhang en plats för olika försök med flera syften och eventuellt flera piloter. I en testbädd ingår även annan infrastruktur som blir viktigt för att kunna genomföra försöken.

En pilotanläggning behöver inte vara permanent installerad på en anläggning. Den kan även byggas för att vara mobil, det vill säga möjlig att flytta mellan olika platser.

Vad som kännetecknar pilotförsök

Genom att pilotförsök sker under mer verkliga förhållanden kan det tillkomma mer störningar jämfört med laborieexperiment (som ofta sker i en välkontrollerad och skyddad miljö). Både laborie- och pilotförsök kan ha störningar som beror på skalproblematik, till exempel kräver vissa försök en minsta volym för att inte randeffekter (exempelvis för små flöden eller för små volymer) ska påverka. En annan utmaning med pilotförsök är att det ibland inte är möjligt att ha den redundans som kan förekomma i fullskala med parallell utrustning/linjer etc. Detta sammantaget med att det som testas i pilotskala av naturliga skäl innebär någonting nytt som inte gjorts förut gör att det finns en rad utmaningar med pilotförsök.

Förutsättningar för en framgångsrik testmiljö

Utöver själva piloten behövs även viss infrastruktur och organisation runt den för att kunna genomföra försöken. Nedan beskrivs ett antal saker som kan vara fördelaktiga att erbjuda i en testbädd, men många av dessa aspekter är även värda att beakta i situationer där en mobil pilot ska driftas på ny plats.

Tekniska förutsättningar	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> El <input type="checkbox"/> Vatten <input type="checkbox"/> Avlopp <input type="checkbox"/> Ventilation <input type="checkbox"/> Tryckluft <input type="checkbox"/> Avfallshantering <input type="checkbox"/> Uppvärmning/luftkonditionering
Rekommenderat	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Personal för drift av anläggningen, projektledning och utvärdering av försök <input type="checkbox"/> Laboratorium/möjlighet att utföra analyser <input type="checkbox"/> Lagringsplats för förbrukningsmaterial, reservdelar, verktyg m.m. <input type="checkbox"/> Internetuppkoppling
Att beakta	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Tillgänglighet till platsen för transporter <input type="checkbox"/> Tillgänglighet i utformning för åtkomst vid drift och underhåll <input type="checkbox"/> Uppställningsplats för t.ex. containers.

Tekniska förutsättningar

Tillgång till el, vatten och avlopp är grundläggande. I många fall är även ventilation, tryckluft och uppvärmning/luftkonditionering viktigt liksom att ha en plan för hur slutprodukter och avfall som bildas ska hanteras. Det kan vara allt från papper man torkar med och emballage från leveranser till restprodukter från processen som inte kan spolas ner i avloppet. Det bör finnas någon form av lagringsplats för förbrukningsmaterial såsom provtagningsflaskor, kemikalier o.s.v. Storlek på lagringsplatsen beror på typen av försök och hur länge dessa pågår. För en större testbädd bör det även finnas avsedd plats att lagra reservdelar, kemikalier, verktyg m.m.

Tillgänglighet är viktigt för en framgångsrik testmiljö. Det handlar dels om själva platsen som bör vara tillgängligt för att möjliggöra transporter till och från testbädden, dels om tillgänglighet

avseende utformning av själva anläggningen. Pilotanläggningen bör utformas för att möjliggöra enkel åtkomst för underhåll av utrustning och åtkomst vid drift för att till exempel ta prover och kontrollera utrustning. Att designa pilotanläggningen utifrån driftaspekter kan göra stor skillnad i tidsåtgång för såväl installation som underhåll.

I vissa fall kan det vara värt att beakta möjligheten att ha tillgång till en uppställningsplats i anslutning till testbädden. Den kan behövas för att kunna ta emot containers om man tillfälligt bygger eller hyr in sådana lösningar.

Beroende på vilken typ av pilotförsök det handlar om bör tillgången till "råvaran" beaktas, det vill säga det som ska gå in i piloten. Detta kan till exempel vara ett vatten som ska behandlas. Hur ska detta komma till platsen och hur ska eventuell lagring ske. Det är även viktigt att fundera om "råvaran" är representativ för den tänkta fullskaleanläggningen. Exempelvis användning av avloppsvatten som har väsentligt annan sammansättning än i den tänkta applikationen kan ge missvisande resultat. Vid försök med "råvara" som har kort lagringstid (avloppsvatten, slam, organiskt avfall) måste transporten planeras så att det kan lösas på snabbaste sätt. Det bör även tas fram en plan för hur råvaran ska lagras under försöksperioden (exempelvis krav på kylning) för att ge representativa resultat.

Eftersom pilotförsök oftast är tidsbegränsande projekt och piloten med största sannolikhet kommer att demonteras eller transporteras vidare är det bra att tänka på nedstängningsmöjligheter, att anläggningen kan dräneras och rengöras enkelt och att rörliga och/eller känsliga delar kan handhas på ett säkert sätt. Att ta höjd för avetablering i budget och tidsplan är också ett bra sätt att slippa överraskande kostnader vid projektets slut. Att använda komponenter som kan återbrukas för andra piloter, kan vara fördelaktigt.

Organisatoriska aspekter

Det rekommenderas att kunna erbjuda tillgång till driftpersonal och är fördelaktigt om det finns möjlighet att utföra laboratoriearbete/analyser i anslutning till piloten. Det är även bra om en testbädd kan erbjuda personal för projektledning och utvärdering av försöken.

Det är sårbart att bara en person känner till hur piloten ska skötas och fungerar. Samtidigt är det är oftast motiverande att ha en organisation kring pilotprojektet som visar intresse. Därför är det fördelaktigt att vara en grupp, storlek kan variera, som arbetar med piloten och har utbyte längs försökens gång.

Lyckade exempel för organisation för långa projekt (1 år eller längre):
Veckovisa avstämningsmöten med projektgrupp: de som driftar anläggningen, de som tar beslut kring hur driften ska vara framöver och de som utvärderar resultaten.

Kvartalsvis uppföljning med referensgrupp med genomgång av försöksplan, ev. avvikelser och hur man kommer framåt.

För kortare projekt kan både gruppen vara mindre och avstämningar ske vid behov. Om man har en intensiv försöks- eller provtagningskampanj kan tätare avstämningar vara att föredra.

Drift av en testbädd

I detta kapitel beskrivs identifierade framgångsfaktorer och tips för övergripande drift av en pilotanläggning, byggnation av en pilot samt databehov för utvärdering av pilotförsök.

Övergripande drift

Om piloten är i drift dygnet runt, se till piloten dagligen så att allting fungerar. För varje nytt försök, kontrollera att inställningarna är rätt och att insamling av data fungerar och sparas på rätt sätt.

Ha en digital loggbok där alla förändringar och inställningar skrivs ner direkt när de görs. Notera gärna också varför ändringarna gjorts. Det är hopplöst svårt att utvärdera i efterhand om något ser konstigt ut och det inte finns dokumenterat vad som gjorts eller varför. Tyvärr är det vanligt att ändringar görs och att ingen sedan minns varför. Anledningen till detta är naturligtvis att när ändringarna gjordes kändes det solklart varför, men månader senare när resultaten studeras är det inte alls lika klart.

Utvärdera gärna löpande så sparas tid genom att allt finns färskt i minnet (beslut om vad som gjorts och varför, inställningar, eventuellt krångel mm) och om något verkar blivit fel upptäcks det tidigare. Det är också möjligt att tidigt upptäcka om något behöver göras om, kan förbättras eller göras annorlunda. Det vill säga kör enligt plan, men utveckla kontinuerligt försöken.

Övergripande drift







- Daglig översyn av anläggningen**
- Kontrollera inställningar och lagring av data** inför nya försök
- Dokumentera i digital loggbok** – kom ihåg att dokumentera varför ändringar gjorts
- Spara resultat** på ett strukturerat och säkert sätt
- Utvärdera löpande**

Byggnation av en pilotanläggning

Byggnation av en pilotanläggning skiljer sig egentligen inte så mycket från ett större byggprojekt avseende de moment som ingår. Skalan på en pilot kan variera mycket liksom graden av automation. Det är vanligt att försök gjorts i mindre skala (laboratorieförsök) innan ett pilotförsök. Resultaten från dessa bör då vara del av utgångspunkten för uppskalning till pilotskala.

Några frågor att klarlägga inför byggnation av en pilotanläggning:

Frageställningar inför byggnation av pilot

-  **Processteg:** Vilka processteg ska ingå? Ska hela processen eller bara delar av en process testas i pilotskala?
-  **Placering:** Var ska piloten placeras? På en testanläggning, eller ska det vara en mobil pilot (av typ containerlösning)?
-  **Infrastruktur:** Finns allt som är nödvändigt för pilotens drift på platsen? Det är alltid fördelaktigt att välja en plats där befintlig infrastruktur kan användas inklusive drift- och underhållspersonal (se "Förutsättningar för en framgångsrik testmiljö").
-  **Utrymmesbegränsningar:** Hur mycket plats får den färdiga piloten ta? Finns begränsningar uppställningsplatsen som takhöjd, dörröppningar, maximal tillåten punktlast etc. som påverkar utformningen av piloten?
-  **Styrning och övervakning:** Behövs möjlighet att kunna övervaka och styra piloten på distans? Behövs koppling till SCADA eller överföring av data på annat sätt?
-  **Transport:** Finns utrymmesbegränsningar vid transport? Finns känsliga delar som behöver transporteras separat för att undvika risk att dessa skadas under transporten?

Moment för byggnation av en pilotanläggning:

Före byggnation av en pilotanläggning

- Flödesschema (P&ID).** Gör ett flödesschema där rördragning, instrumentering och utrustning framgår (P&ID). Tänk även på utvärderingen, t.ex. möjlighet att ta ut prov, och på flexibilitet som kan behövas i olika försök, t.ex. genom att installera kopplingar för förbiledning.
- Provtagningspunkter.** Planera noga för lämplig placering av provtagningspunkter för att undvika t.ex. sedimentering av partiklar i provtagningsventiler, provtagning i stillastående zoner, svårigheter genom luftansamlingar etc.
- Komponentlista.** Lista all utrustning som behövs. Där bör framgå dimensioner, effektbehov, mätområden, klassning (t.ex. IP och Ex-klassning) leveranstid, pris m.m.

	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Ritningar. Skapa ritningar över piloten. <input type="checkbox"/> Styr- och funktionsbeskrivning. Skriv en styr- och funktionsbeskrivning som innehåller information om processen, hur piloten är tänkt att fungera och styras. Om automatisk styrning ska ingå behöver styrstrategier utformas och sedan programmeras. Ett gränssnitt för operatören bör skapas.
Praktiska moment	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Byggnation, montering och installation av utrustning <input type="checkbox"/> Utcheckning av signaler <input type="checkbox"/> Test av komponenter <input type="checkbox"/> Funktionstest av hela anläggningen (t.ex. renvattentest)
För framtiden	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Sammanställning av dokumentation <input type="checkbox"/> Operatörsträning

Utöver ovanstående moment är det även lämpligt att fundera över lagring av data och för vilka signaler historik ska sparas. Även loggning av börvärden kan vara bra. Planera i förhand en kontroll av att loggning fungerar och reservkopiering av loggdata. Det har tyvärr skett att det upptäckts att data inte sparades som det skulle eller att loggningsdata saknades över en intressant period. Planera även att anteckningar som görs på papper under försökets gång sparas i digital format.

En utmaning med pilotskalan i sig kan vara att hitta utrustning i rätt storlek, det är vanligt att utrustning förekommer i labbskala och fullskala, men att storlekar däremellan kan behöva specialbeställas. Ett tips är att göra anslutningar så stora som möjligt då det är enkelt att anpassa befintliga till mindre dimensioner men det är svårt att förstora. En annan utmaning kan vara att det lättare blir stopp i små rördimensioner, försök därför undvika för många böjar och förträngningar. Tänk också över materialval och strategiskt placerade anslutningar för att kunna spola rent vid behov.

När det gäller att besluta om storlek på piloten är det ofta redan tillgänglig utrustning eller storlekar som går att få tag i som bestämmer hur stor själva pilotanläggningen ska vara. Identifiera vilken del av utrustningen som är avgörande för pilotens storlek.

Storlek på rör, kopplingar eller slangar etc. har viss skalproblematik och beroende på vad som ska ledas i rören kan det finnas risk för igensättningar som är kopplade till den mindre skalan jämfört med fullskala.








Då pilotförsök kan uppvisa ej förväntade utfall i både drift och resultat är det fördelaktigt att konstruera anläggningen med modifiering i baktanke. Att använda sig av olika sorters kopplingar för enkel demontering istället för fasta anslutningar och förbereda med extra påstick och avstängningsventiler kan spara mycket tid och kostnader.

Databehov för utvärdering av försök

I många fall är det bättre att tänka efter, före. För utvärderingen finns en del som kan underlätta att tänka igenom i förväg. En del avvägningar kan behöva göras mellan noggrannhet i utvärdering och budget för pilotförsöken. Vissa aspekter av utvärderingen bör beaktas redan vid byggnation av piloten såsom möjlighet att ta ut prover etc.

Några frågor att klarlägga vid planering av hur försök ska utvärderas:

Frageställningar inför utvärdering

-  **Tidsaspekter:** Hur långa försök och hur många mätningar behövs för att kunna dra slutsatser av försöken?
-  **Variationer:** Är det viktigt att fånga upp olika variationer – säsongsvariationer, dygns-/veckovariationer?
-  **Provtagning:** Vilka prover ska tas, i vilka punkter och vad ska analyseras? Ska det vara stickprov eller samlingsprover? Behövs en automatisk provtagare?
-  **Provvolymer:** Hur stor provvolymer behövs för de olika analyserna?
-  **Provförvaring:** Hur ska prov förvaras inför analys; behövs kyl och frys?, Ska proverna förvaras vid någon särskild temperatur, luftfuktighet etc.?, behöver prover konserveras?
-  **Analysering av prov:** Kan analyserna göras av driften/egna organisationen eller ska de skickas iväg?
-  **Mätning med online-instrument:** Ska uppföljning ske genom installation av online-instrument för realtidsövervakning? Online-instrument möjliggör kontinuerlig övervakning och dessa värden kan också användas för utvärdering.

Ofta finns en begränsning i antal prov som kan analyseras, antingen på grund av budget eller tid. Frågan blir då om det är bäst att göra analyser i triplikat för varje provpunkt eller göra fler försök med färre provpunkter eller färre dubletter på analyser? En balans mellan dessa är ofta den bästa lösningen, d.v.s. att några försök körs med analys i alla viktiga provtagningspunkter och analys av alla viktiga parametrar samt eventuellt analys på flera laboratorier. Dessa kompletteras sedan med fler försök med analyser från färre provtagningspunkter och färre parametrar. Man bör med fördel ta fler prover och frysa/konservera dem och analysera endast vid behov.

Vid första uppstart av en pilot kan en högre provtagningsfrekvens behövas till dess att beteendet och hantering av piloten har kommit upp till en stabil nivå hos användaren.

Om online-instrument används för utvärdering av försök, tänk på att ta hänsyn till eventuellt behov av underhåll av instrument, detta varierar kraftigt beroende på typ av instrument och i vilket media de mäter.

Att tänka på

För att genomföra ett lyckat pilotförsök gäller i många avseende samma råd som för andra typer av projekt och försök. Nedan sammanfattas stegen i planering av pilotförsök.

Planering

- Identifiera och definiera syfte**
- Besluta om avgränsningar och driftområde**
- Ta fram budget- och tidsramar**
- Gör en försöksplan**
- Tänk igenom risker**
- Planera bemanning**
- Fundera över nästa steg – hur gå vidare efter pilotförsök?**

Precis som alla typer av försök eller experiment behövs en försöksplan. Det är viktigt att tidigt ha klart för sig vad syfte och mål med pilotförsöken är, innan själva utformning av piloten och försöken planeras. Syfte och mål kan klarlägga vilken typ av utrustning som blir viktig och ibland kan saker lösas på olika sätt där syftet med utvärderingen är avgörande för vilket som är lämpligt. I fall där det finns fler än en part i projektet är det ytterst viktigt att tydligt definiera målen med pilotförsöken och nå en samstämmig syn på vad som ska uppnås. Om parter är oense kan det medföra stora förseningar i projekt.

Exempel på syften med pilotförsök:

- Bedöma hur redo idén är för uppskalning (viability). Bestämna vilka justeringar som behövs och identifiera utmaningar som kan uppstå vid implementering i fullskala.
- Säkerställa att krav uppfylls (processmässiga, tekniska, miljömässiga).
- Utvärdera olika reningsmetoder och jämföra dessa med varandra.
- Utvärdera nya tekniklösningar.
- Utvärdera resursförbrukning: bedöma hur mycket tid och resurser som krävs för drift.
- Optimera och trimma (processmässiga, tekniska, driftmässiga och miljömässiga aspekter)
- Test av uppföljnings- och utvärderingsmetod.
- Minimera tekniska och driftmässiga risker
- Utbildning driftpersonal

Vidare bör pilotens driftområde specificeras (gränser för t.ex. flöde, belastning, tryck och temperatur) och vilka processteg som ska inkluderas. Här kan eventuellt tidigare genomförda laboratorieförsök vara till hjälp.

Det behövs förstås en budget och tidsramar för pilotförsöken, en avvägning mellan väntade driftskostnader och målen som ska uppnås med försöken. Det kan också med fördel redan i detta steg påbörjas en grov planering för nästa steg, det vill säga hur resultaten tas vidare efter avslutade pilotförsök.

Tänk igenom vilka risker som finns, om något i pilotförsöken kräver tillstånd, t.ex. miljömässiga, bör dessa sökas så tidigt som möjligt. Om försök genomförts i större pilotskala eller fullskala kan dessa behöva anmälas till tillsynsmyndighet. Även val av plats för

försöken kan innebära risker. Risker är viktiga att få med i planeringen av projektet eftersom detta kan medföra aktiviteter som påverkar både tidsplan och kostnader i projektet. Ett exempel är om det behövs en ATEX-klassning (för potentiellt explosiva miljöer), då kan piloten bli avsevärt mycket dyrare. Samtidigt behöver pilotanläggningar ofta inte ha samma tillstånd som liknande processer i fullskala, vilket kan vara en fördel med pilottester.

Vid val av komponenter är det bra att ta reda på leveranstider och priser så att planeringen av pilotbygget inte fallerar då en viktig komponent inte finns tillgänglig med rimlig leveranstid till den kostnad som är budgeterad för.

Fundera också på bemanning, finns det erfaren personal att anlita eller behöver någon utbildas för drift av anläggningen och för projektledning. Det är viktigt att tydligt beskriva ansvarsområden och vem som ersätter under ledighet och eventuell sjukdom. Det är lätt hänt att saker faller mellan stolarna annars.

Ytterligare en fråga som bör redas ut är hur kritiskt det är att det inte blir avbrott i driften och hur långa avbrott kan accepteras. Det påverkar bland annat både investering för övervakning och bemanning. Till exempel beslut om åtgärder ska göras under helg.

Framtagande av en försöksplan

Det finns metoder för att utforma sina experiment så att resultaten kan utvärderas på ett tydligt sätt.

För optimeringsförsök eller försök där man vill hitta samband är "design of experiment" (på svenska: statistisk försöksplanering) en bra väg att gå. Detta är ett samlingsbegrepp för statistiska metoder för att ta fram orsakssamband mellan olika förklaringsvariabler och resultatvariabler och se effekten på resultatet från olika förklaringsvariabler. Tanken med dessa metoder är att utforma en försöksplan med rimligt antal försök som beskriver hur utfallet från en process kan optimeras genom att justera processen.

Ibland är tiden för försöken viktig, till exempel kan det vara svårt att utvärdera resultat om en kontrollerad variabel ändras i taget och en okontrollerad variabel förändras över tid. Ett exempel: Avvattning av slam med olika doser polymer, säg att du börjar med lägsta dosen och ökar med tiden och så varierar slammets komposition över tid. Då är det bättre att slumpvis testa olika doser av polymer.

Eftersom flera variabler kan samverka kan ett traditionellt sätt att ändra en sak i taget ge missvisande resultat. I exemplet med avvattning av slam testades att ändra polymerdosering, inblandningstid och avvattningsutrustningens frekvens samtidigt enligt en statistisk försöksplan istället för att först testa olika frekvens på avvattaren välja den som gav bäst resultat och sedan gå vidare och ändra polymerdosering osv. På så sätt kunde antalet försök minskas.

Om man inte har en systematik i hur man gör förändringar kan förändring av flera saker samtidigt medföra svårigheter i utvärderingen genom att det inte går att särskilja vad som beror av vad.

För att kunna visa på förbättringar är det ibland fördelaktigt med parallella försök, där man gör förändringar på en process och har en parallell som referens. Detta för att kunna säkerställa att förutsättningarna i övrigt inte förändrats över tid jämfört med att först göra ett referensförsök följt av ett test i en och samma process.

Tidsplan

Det är svårt att säga hur lång tid det tar att komma igång med pilotförsök. Variationerna är stora. En vanlig anledning till förseningar är försenade leveranser eller att utrustning inte fungerar som tänkt eller tar längre tid att installera än planerat. Tidplanen bör ha utrymme för vissa förseningar både under byggfasen (identifiera kritiska moment för att arbetet ändå kan fortsätta) och under driftfasen. Under driftsättning behöver sannolikt en del justeringar och inställningar trimmas in vilket bör inkluderas i tidsplanen. Även för själva försöken och utvärderingen finns det mycket som kan leda till förändringar i planen. Det är såklart bra att göra en plan, men det kommer också krävas modifieringar av planen under projektets gång. Tiden från driftstart till att det är rimligt att påbörja utvärdering skiljer sig beroende på typ av process. För biologiska processer krävs normalt en längre uppstartstid för att nå balans i systemet innan utvärdering kan påbörjas.

Det är också bra att fundera på om säker drift kan säkerställas under storhelger, lov och sommaresemestertider eller att det är bättre att pausa försök (om det går) under dessa perioder eller planera försöksperioden utanför dessa ledigheter.

Risikanalyis

Gör en riskbedömning av de moment som ingår i byggfas, uppstartsfas och driftfas för piloten. Tänk på vilken skyddsutrustning som kan behövas och kolla upp behov av kringutrustning t.ex. invallning av kemikalier, ventilation, strömsäkerhet mm. Vid riskbedömning kan det vara enklare att identifiera alla risker genom att först gå igenom och knyta riskerna till alla olika typer av energier som finns vid försöken:

- potentiell energi (fallrisk, skyddshjälm),
- kinetisk energi (roterande utrustning),
- elektrisk energi (elchockrisk),
- kemisk energi (explosiva och brandfarliga ämnen, även korrosiva ämnen),
- pneumatisk energi (trycksatta kärl).

Förutom dessa riskmoment behöver man gå igenom smittrisker och skyddsutrustning som kan vara lämplig.

Vad kostar?

Att minska på automationen och arbeta manuellt kan i vissa fall spara kostnader. Till exempel för utrustning som nästan alltid har samma inställning, då är det oftast billigare om en anställd manuellt justerar istället för att installera automatisk styrning. Om piloten är i mindre skala är det också möjligt att spara pengar genom att låta driftpersonal blanda tillsatser jämfört med att investera i automatisk utrustning. Däremot kan det finnas en poäng med automation om det är just automationen och styrningen som ska testas ut inför fullskala. Det är också så att människor är mindre konsistenta jämfört med automationsutrustning, vilket kan medföra att systemet blir mindre robust med manuella justeringar.

Ökad flexibilitet är bra men innebär ofta ökade kostnader för investeringen och kan även göra driften mer komplex.

Tips på vidare läsning

På engelska finns en **manual för laboratorieförsök och pilotförsök** framtagen av USA:s motsvarighet till Naturvårdsverket (US EPA)

ICR Manual for Bench and Pilot-Scale Treatment Studies, US EPA (1996) EPA 814/B-96-003, April 1996.

Hemsidan Chemical Processing som tillhandahåller olika guider riktade till kemiindustri har publicerat en artikel av Matt Benz med titeln "**Obtain the optimal Pilot Plant**" med många tips som är relevanta även för andra typer av pilotförsök.

Benz, Matt.(2019) *Obtain the optimal Pilot Plant*. Chemical Processing, September 2019.
<https://www.chemicalprocessing.com/articles/2019/obtain-the-optimal-pilot-plant/>

För den som är intresserad av **online-instrumentering** finns rapporten *Instrumentera rätt på avloppsreningsverk* som innehåller både tekniska och organisatoriska tips för instrumenteringsarbete. Även om det handlar om instrumentering för kommunala avloppsreningsverk kan många tips även appliceras vid mätning i pilotskala och på andra typer av vatten, slam och gas.

Andersson, S.L., Åmand, L., Samuelsson, O., Nilsson, S. (2019) *Instrumentera rätt på avloppsreningsverk*. SVU-rapport 2019-14. Tillgänglig via: <http://vav.griffel.net/filer/svu-rapport-2019-14.pdf>

Rapporten *Goda råd för integrerad design inom processindustri* ger tips för att nå kortare och effektivare utvecklingscykler i svensk processindustri. Här finns övergripande och praktiska råd som går att tillämpa i alla typer av design i processindustrier, många också tillämpbara på pilotprojekt.

Björk, A., Fridén, H., Tönnerfors, E., Andersson S. (2016) *Goda råd för integrerad design inom processindustri*. IVL-Rapport C-195. Tillgänglig via:
<https://www.ivl.se/download/18.7e136029152c7d48c202853/1472804397769/C195.pdf>

