

Stig Morling  
Blindgatan 39A  
791 72 FALUN  
Enskild firma,  
Reg. Nummer 4410030433  
Mail-address: stig.morling@telia.com,

## BIOKOL AB

# KORTFATTAD ANALYS AV HOFORS AVLOPPSRENINGSVERK, GÄSTRIKE VATTEN

## 1. Bakgrund och förutsättningar

BIOKOL AB har erhållit finansiellt stöd för att utveckla den så kallade HTC-processen för att möjliggöra en selektiv utvinning av fosfor. Denna studie analyserar förutsättningar och bedömbara processeffekter för Hofors avloppsreningsverk, som betjänar centralorten Hofors, i Hofors kommun. Detta dokument innehåller en kort sammanställning av centrala tekniska data vid anläggningen. Som grund för den följande sammanställningen har 2015 års miljörapport för anläggningen använts.

Biokol AB anlitar för processtekniska frågor Stig Morling, Falun, Teknologie Doktor i biologisk avloppsrening.

## 2. Aktuell driftsituation

Reningsprocessen omfattar förbehandling, biologisk behandling enligt aktivt slam-processen och kemisk fällning för fosforreduktion med aluminiumsalt. Kemikalietillsatsen sker för att säkerställa utsläppskravet avseende fosfor.

Slambehandlingen omfattar förtjockning och mekanisk avvattning med centrifug. Det avvattnade slammet omhändertas av entreprenör.

Enligt Miljörapporten har inkommande föroreningsmängder år 2015 varit följande, se **Tabell 1**:

**Tabell 1** Sammanställning av inkommande föroreningsbelastningar vid Hofors ARV, år 2015

Föroreningsvariabel	Värde	Sort
BOD <sub>7</sub>	85	ton/år
COD	232	ton/år
P-tot	2,4	ton/år
N-tot	24	ton/år

;

Den behandlade avloppsvattenmängden över året har varit 1 591 400 m<sup>3</sup>/år, eller som dygnsmedelvärde 4 360 m<sup>3</sup>/d.

Stig Morling  
Blindgatan 39A  
791 72 FALUN  
Enskild firma,  
Reg. Nummer 4410030433  
Mail-address: stig.morling@telia.com,

Flödesmässigt är anläggningen belastad till ca 30 % av dimensionerande belastning och med avseende på organisk substans mindre än 15 %.

Gällande utsläppsvillkor för verksamheten och utsläppsvärden för 2015 framgår av följande, se **Tabell 2**.

**Tabell 2** Sammanställning av gällande utsläppsvillkor och utsläppsnivåer år 2015 vid Hofors ARV

Föroreningsvariabel	Villkor	Nivå år 2015	Sort
BOD <sub>7</sub>	< 10	< 3	mg/l
COD	(< 70)	< 30	mg/l
P-tot	< 0,3	0,22	mg/l
N-tot	Inget gällande	12	mg/l

Kommentarer:

1. Det angivna COD-värdet är informellt, och är inte tills vidare juridiskt bindande. Det redovisade utsläppsvärdet får anses som mycket lågt, och indikerar att reningsprocessen fungerar mycket väl.
2. Utgående kvävehalt är så låg, att den tillfredsställer även kraven för större anläggningar där kvävekrav gäller (årsmedelvärden < 15 mg/l, räknat som N-tot). En närmare analys av de redovisade kvävefraktionerna i utgående avloppsvatten visar för övrigt att under andra halvåret sker en nitrifikation av vattnets kväveinnehåll.
3. Utsläppta föroreningshalter har varit under gällande rikt- och gränsvärden vad avser BOD<sub>7</sub> och fosfor.

Användningen av fällningskemikalie (Ekoflock 90, ett aluminiumsalt) har under 2015 uppgått till 67 ton teknisk produkt. Gästrike Vatten kan tänkas återgå till tidigare använt järnsalt, se kommentarer i kapitel 4. Slammet tillförs mindre mängder organiska flockningsmedel, kallade polymerer. Detta är en helt klassisk metod.

Den producerade mängden avvattnat slam uppgår till 991 ton/år, med en torrsubstanshalt om 23,6 %. Detta motsvarar en torrsubstansmängd om 234 ton/år. Denna slammängd blir på dygnsbasis 641 kg TS/d. Till reningsverket tillförs dessutom en mindre mängd slam från Bodås ARV, ca 2,5 ton TS/år.

Av miljörapporten för år 2015 framgår följande avseende det avvattnade slammets väsentliga egenskaper; se **Tabell 3**.

Stig Morling  
Blindgatan 39A  
791 72 FALUN  
Enskild firma,  
Reg. Nummer 4410030433  
Mail-address: stig.morling@telia.com,

**Tabell 3** Sammanställning av slamkaraktäristika för avvattnat slam vid Hofors ARV

Variabel	Värde	Sort
pH	Ej angivet	pH
TS	%	23,6
Org. substans	%	Ej angivet
Total N	% TS	4,4
Total P	% TS	1,8
Aluminium	g/kg TS	31
Bly	mg/kg TS	22
Järn	g/kg TS	9,0
Kadmium	mg/kg TS	0,69
Koppar	mg/kg TS	260
Krom	mg/kg TS	31
Kvicksilver	mg/kg TS	0,39
Nickel	mg/kg TS	19
Silver	mg/kg TS	Ej angivet
Zink	mg/kg TS	450

Dessutom redovisas Nonylfenol, summa PCB, summa PAH och alkalimetaller i slammet.

Kommentarer till slamkvalitetsdata:

1. De redovisade värdena med avseende på torrsbstans och innehåll av närsalter är "normala" för ett kommunalt avloppsreningsverk.
2. Tungmetallhalterna uttryckta som mg/kg TS är alla låga och väsentligt under gällande krav på god slamstandard. Det enda avvikande värdet är Zink. Å andra sidan återfinns den redovisade zinkhalten i stort sett i samma nivå vid andra kommunala avloppsreningsverk.

Stig Morling  
 Blindgatan 39A  
 791 72 FALUN  
 Enskild firma,  
 Reg. Nummer 4410030433  
 Mail-address: stig.morling@telia.com,

### 3. Anläggningens huvudsakliga processdimensioner

Hofors ARV som byggdes i mitten av 1970-talet har följande huvudsakliga dimensioner; se **Tabell 4**. I tabellen redovisas också de nominella dimensionerande data och aktuella belastningsdata (baserade på år 2015):

**Tabell 4** Processdimensioner, dimensionerande data och aktuella belastningsvärden (år 2015) för Hofors ARV

Processdel	Volym, ytor	Sort	Dim värden	Bel. 2015
<b>Belastningar</b>				
Dygnsflöde		m <sup>3</sup> /d	12 000	4359
Timflöde (Q <sub>dim</sub> )		m <sup>3</sup> /h	600	242
BOD <sub>7</sub>		kg/d	1800	234
COD		kg/d		635
Tot P		kg/d	60	6,9
Tot N		kg/d	180	65
<b>Förbehandling</b>				
Galler		m <sup>3</sup> /h		
Sandfång	55	m <sup>3</sup>		
Uppehållstid		h	0,09	0,23
Försedimentering				
Volym	850	m <sup>3</sup>		
Uppehållstid		h	1,42	3,51
Yta	230	m <sup>2</sup>		
Ytbelastning		m/h	2,8	1,05
<b>Biologisk rening</b>				
Luftningsbassänger				
Volym	1350	m <sup>3</sup>		
Uppehållstid		h	2,25	5,6
Slamhalt		kg SS/ m <sup>3</sup>	3	2
Slammängd		kg SS	4050	2700
Sambelastning		kg BOD <sub>5</sub> /kg SS/d	0,31	0,061
Blåsmaskinkapacitet	2* 37 kW	kW		
Mellansedimentering				
Volym	1700	m <sup>3</sup>		
Uppehållstid		h	2,8	7,02

Stig Morling  
 Blindgatan 39A  
 791 72 FALUN  
 Enskild firma,  
 Reg. Nummer 4410030433  
 Mail-address: stig.morling@telia.com,

Yta	460	m <sup>2</sup>		
Ytbelastning		m/h	1,3	0,5
<b>Kemisk efterfällning</b>				
Kemikaliedosering		g/m <sup>3</sup>		
Använd kemikalie		kg/d		
Flockning				
Volym	350	m <sup>3</sup>		
Uppehållstid		h	0,55	1,45
Slutsedimentering				
Volym	2100	m <sup>3</sup>		
Uppehållstid		h	3,5	8,68
Yta	600	m <sup>2</sup>		
Ytbelastning		m/h	1	0,40

Kommentarer till **Tabell 4**: Den aktuella belastningen på Hofors ARV belyses av data för 2015, hämtade ur 2015 års miljörapport för anläggningen. En värdering av de tre tidigare årens belastningsdata visar, att värdena varit i stort sett stabila på en låg nivå, jämfört med dimensionerande data. Därför används i följande kapitel belastningsvärdena från 2015 när en bedömning av rimliga åtgärder vid anläggningen i relation till en HTC-process.

#### 4. Möjligheter till en energi- och resursbesparande drift

Såsom framgår av ovan är Hofors ARV belastat till endast ca 30 % avseende avloppsflödet. Den organiska föroreningsbelastningen är ännu lägre, eller under 15 % av dimensionerande värde. Den nuvarande driften baseras på en efterfällning med aluminiumsalt. Doseringen uppgår till 67 g salt/m<sup>3</sup> behandlat avloppsvatten. Räknat som specifik mängd salt per inkommande mängd fosfor blir doseringen 28 g salt/g P.

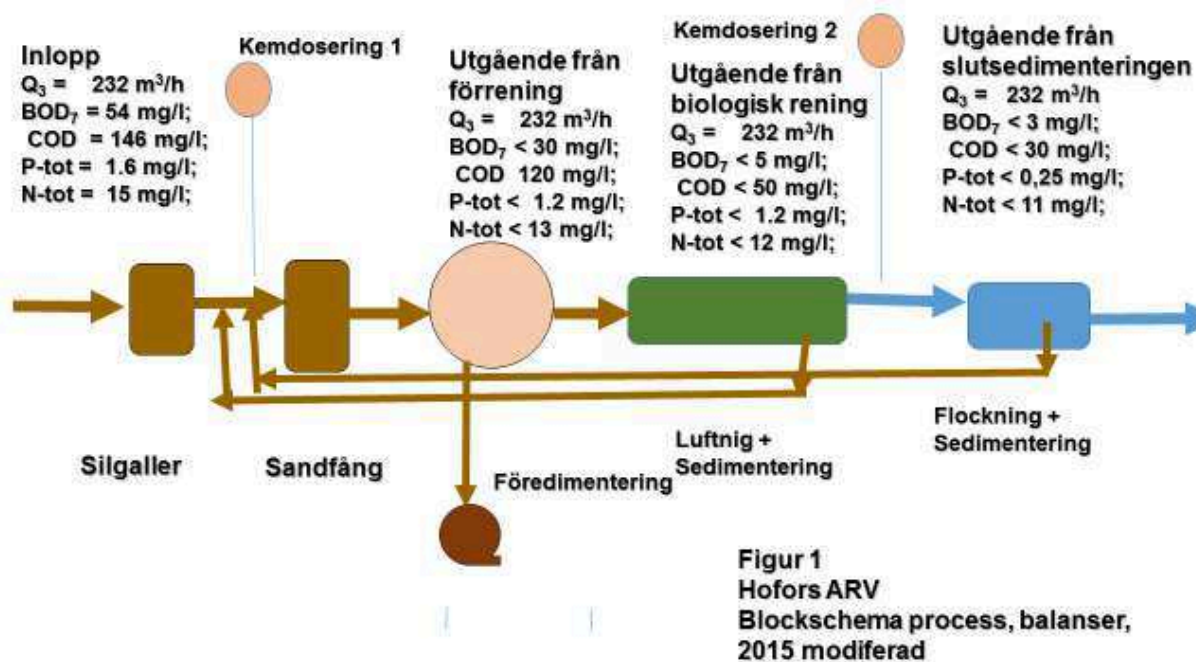
Anläggningen har tidigare drivits med tillsats av trevärd järnklorid och med i huvudsak en förfällning av fosfor. Denna driftsmodell ger dessutom en väsentligt förbättrad avskiljning av organiskt material. Detta sker genom en "utflockning" av suspenderat material. Den förbättrade reduktionen sker framförallt genom att kolloidalt och små slamflockar byggs upp till avskiljbart slam som kan avskiljas i försedimenteringen.

En återgång till denna modell i kombination med andra möjligheter till driftkostnadsbesparingar kan ge ett antal intressanta förbättringar av anläggningen. I samtliga fall kan de följande åtgärderna ses som att snarast befrämja en HTC-process. Dessa åtgärder sammanfattas i följande punkter.

1. En förfällning ökar andelen organiskt material i slammet. Detta är en direkt konsekvens av förfällningen;

2. Detta innebär i sin tur, att det biologiska steget avlastas med i stort sett 50 % av inkommande mängd BOD<sub>7</sub>/d, jämfört med en drift med endast efterfällning. Detta ger en möjlighet att spara ca 1/3-del av tillförd luftningsenergi till systemet.
3. En ytterligare möjlighet är att driva luftningen intermittent, med en luftning som styrs på syrehalten i luftningsbassängerna och en tidsstyrning. Framförallt kan luftnings-energi sparas nattetid, då tillförseln av förorening är låg.
4. Den nuvarande efterfällningen kan sannolikt minskas, och användas som enbart en polering av behandlat vatten.
5. Samtliga strömmar av överskottsslam – primärslam, biologiskt överskottsslam och kemiskt efterfällningsslam avskiljs slutligen i försedimenteringen, se **Figur 1** nedan.
6. Det borde dessutom finnas möjligheter att använda den ena slutsedimenteringen för behandling av bräddat vatten.
7. Samtliga dessa åtgärder kan ses som ändamålsenliga för att öka mängden organiskt kol i slammet, samtidigt som såväl driftskostnader som en förstärkt reningseffekt erhålls.

Den modifierade driftsmodellen redovisas i **Figur 1**



Stig Morling  
Blindgatan 39A  
791 72 FALUN  
Enskild firma,  
Reg. Nummer 4410030433  
Mail-address: stig.morling@telia.com,

En sammanfattning av dessa åtgärder återfinns i det avslutande kapitlet. Det bör understrykas, att en mer detaljerad beskrivning av besparingsmöjligheter inom vattenbehandlingen kräver kompletterande arbeten i samarbete med Gästrike Vatten.

## **5. Möjligheter att driva en HTC-process vid Hofors ARV**

Ett antal förutsättningar som bör uppfyllas för att en HTC-process skall användas framgångsrikt kan definieras enligt följande:

1. Så stor del som möjligt av det organiska kolet i inkommande avloppsvatten bör föras över till slamfasen;
2. En så långtgående reduktion av fosfor som möjligt i vattenbehandlingen ger en potentiellt utmärkt möjlighet att återta fosfor i en anrikad form.
3. Det är en fördel om det avskilda slammet har en svagt sur karaktär (pH gärna ca 6-6,5). Denna effekt kan förstärkas om aktivtslamsystemet kan drivas med en kontrollerad nitrifikation. En sådan situation förstärks av att en förfällning drivs. Den organiska belastningen på biologin minskar härigenom, se ovan och möjligheterna till en kontrollerad nitrifikation förstärks. Denna biologiska process är surgörande genom att nitrater bildas. Detta är således en fördel för HTC-processen, samtidigt som ett utsläpp av ammonium från Hofors ARV begränsas.

Med utgångspunkt från dessa kriterier kan det konstateras, att "frånvaron" av en anaerob slamrötning vid anläggningen är positiv med hänsyn till en HTC-process. Detta eftersom en slamrötning ger upphov dels till koldioxid, dels till metangas. Bägge dessa gaser får i perspektivet HTC ses som "onödiga" förluster av potentiellt värdefullt kol.

Såsom framgår av föregående kapitel finns det utmärkta möjligheter till väsentliga resurs- och energibesparingar vid Hofors ARV.

En bedömning av hur en HTC-process kan översiktligt dimensioneras för Hofors ger följande:

En slamhalt om ca 10 – 12 % prepareras. Detta kan åstadkommas genom att hälften av slammet avvattnas till ca 23 %, medan resterande mängd har en torrsubstanshalt om ca 3 %. Alternativt kan en mekanisk förtjockning anordnas för det blandade slammet. Förtjockningen bör drivas upp till en torrsubstanshalt om lägst 10 %. Enligt ovan är den genomsnittliga slamproduktionen ca 640 kg TS/d. Försättningsvis antas att denna slam-mängd är representativ för en översiktlig framtid. Genom processmodifikationerna kan däremot slammets innehåll av organiskt kol ökas i förhållande till nuvarande situation. Slammets förtjocknings- och avvattningsegenskaper förutses inte förändrade i någon väsentlig grad.

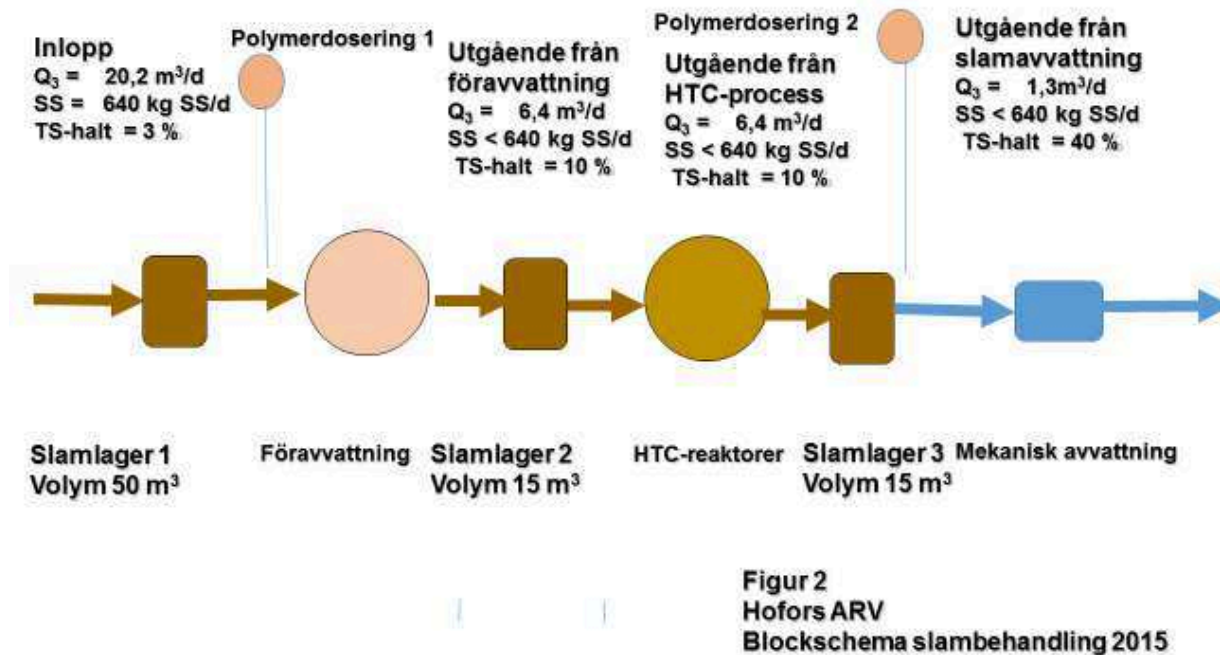
Stig Morling  
Blindgatan 39A  
791 72 FALUN  
Enskild firma,  
Reg. Nummer 4410030433  
Mail-address: stig.morling@telia.com,

Fortsättningsvis antas, att slambehandlingen sker i tre steg, förutom att mellanlager kan krävas mellan varje steg. Fortsättningsvis antas att slambehandlingen drivs vardagar dagtid. Antalet driftdygn per år blir således 250 dygn, eller högst 2 000 drifttimmar/år.

- En lagringsvolym om lägst ca 50 m<sup>3</sup> behövs för en utjämning av producerat slam;
- En mekanisk förtjockning a slammet till 10 %, med en mekanisk föravvattbare. Denna förtjockning resulterar i en dygnsslammängd om ca 6,4 m<sup>3</sup>, eller ca 9,4 m<sup>3</sup>/d vid drift under 250 dygn/år. Den bedömbara åtgången av polymer (organiskt flocknings-medel) kan anges till ca 2 kg/ton TS, eller ca 480 kg/år;
- Vid en drift av den mekaniska förtjockaren under högst 20 h/vecka krävs en kapacitet om ca 12 m<sup>3</sup>/h, räknat på inmatat oförtjockat slam, eller en TS-mängd 160 kg TS/h.
- Förtjockat slam lagras i en volym om ca 15 m<sup>3</sup>, varifrån slammet pumpas till HTC-reaktorerna.
- Detta stämmer väl med att använda 2 reaktorer om vardera 1,6 m<sup>3</sup> Detta möjliggör en drift om ca 12 h/d.
- Slammet som behandlats i en HCT-process kan mellanlagras i en tank med ca 15 m<sup>3</sup>, vilket ger ett lagringsbehov över en veckohelg. Genom att slammet har behandlats under hög temperatur – upp till 200 oC och samtidigt högt tryck mellan 16 och 20 atö – är slammet såväl stabiliserat som hygieniserat. HTC-processen kommer att kräva tillsats av energi, dels för uppvärmning, dels för pumpning. En mer detaljerad processbeskrivning av denna process redovisas i **Bilaga 1**.
- Avvattning kan antingen ske i befintlig centrifug, eller om det är aktuellt att byta ut avvattningssystemet kan ett energisnålare system övervägas.
- Avvattningsresultatet förutses ge en torrsbstanshalt om > 35 till 40 %, samtidigt som behovet av polymertillsatsen blir lägre.

I **Figur 2** illustreras ett förenklat flödesschema över slambehandlingen baserad på HTC-processen.





## 6. Miljökonsekvenser, sammanfattande synpunkter

Sammanfattningsvis kan följande konstateras beträffande en introduktion av HTC-processen, varvid de skisserade processmodifikationerna också redovisas.

### 6.1 Konsekvenser för vattenbehandlingen vid Hofors ARV

- Anläggningens utformning kan bibehållas, och eventuella ändringar inom vattenbehandlingen kan ske efter behov och identifierade fördelar.
- En återgång till förfällning vid anläggningen innebär, att en ökad del organiskt kol bibehålls i slamfasen. Denna åtgärd är således ändamålsenlig för en slambehandling i HTC-processen. Samtidigt kan energibesparingar uppnås i aktivtslamsystemet, genom att behovet av luftning minskas med ca 30 %.
- En kontrollerad nitrifikation i det biologiska steget ger två effekter som är intressanta i sammanhanget: a) Utsläpp av ammoniumkväve från Hofors ARV minskar; b) ett nitratrikt biologiskt överskottsslam kommer att stabilisera blandslammets pH på sura sidan.
- En recirkulation av både biologiskt överskottsslam och kemiskt efterfällningsslam till det luftade sandfånget gör att ett homogeniserat blandslam tas ut från försedimenteringen. Detta blandslam har en svagt sur karaktär, pH kan förväntas vara ca 6,5. Detta kan i sin tur ses som positivt för HTC-processen som drivs i sur miljö.

Stig Morling  
Blindgatan 39A  
791 72 FALUN  
Enskild firma,  
Reg. Nummer 4410030433  
Mail-address: stig.morling@telia.com,

- En modifierad drift av vattenbehandlingen möjliggör också, att en av slutsedimenteringarna kan nyttjas för bräddvattenrening, och därmed ytterligare förbättra utsläppen från Hofors ARV. Dessutom kan en mindre mängd organiskt material också återföras till det luftade sandfånget, och därmed bidra till den tillgängliga mängden organiskt kol.
- Genom processmodifieringen kan friställda volymer göras tillgängliga för eventuella utjämningsbehov för slam och rejektvatten från slambehandlingen.

## 6.2 Konsekvenser av en HTC-process vid Hofors ARV

- Anläggningen får genom HTC-processen ett behandlingssteg som omfattar både stabilisering och hygienisering av slammet.
- Ett nytt mekaniskt förtjockningssteg måste inkluderas i slambehandlingsprocessen, med tillsats av polymer som säkerställer slammets torrsubstanshalt. En mekanisk förtjockare av erforderlig kapacitet finns på marknaden med en kapacitet om upp till ca 15 m<sup>3</sup>/h, dock i detta fall blir inmatat kapacitet ca 60 kg TS/h. För pumpning av ett förtjockat slam till HTC-processen föreslås en excenterskruvpump med en speciellt utformad inmatningsficka om ca 1,5 m<sup>3</sup>:s volym. Pumpningen förutsätts ske via en slam/slamvärmväxlare och pumpens mottryck bör kunna begränsas till ca 4 atm. Pumpen svarar således för fyllning av reaktorerna växelvis, utan att pumpningen behöver ske mot ett högt tryck. Pumpens kapacitet bör vara lägst ca 2 m<sup>3</sup>/h.
- Behandlingen av slammet i en HTC-process bör ske i två parallella satsvisa reaktorer. Arrangemang för värmetillförsel via ånga ingår. För tryckhållning används tryckluft samt för utgående slam ett system för värmväxling av slammet.
- Slutavvattnings av slammet kan ske antingen med befintlig centrifug, eller med en ny skruvpress, med väsentligt lägre energibehov. Skruvpress av lämplig storlek finns idag på marknaden. En installerad effekt om ca 2 – 3 kW bedöms tillräcklig för Hofors ARV:s behov.
- Det slutavvattnade slammet kommer att vara rikt på kol och fosfor. Bägge dessa grundämnen är attraktiva för återanvändning.
- Transportbehovet för slammet från anläggningen minskas till hälften, jämfört med nuvarande förhållanden. En sannolik TS-halt i slammet kommer att vara 40 – 50 %.

Stig Morling  
Blindgatan 39A  
791 72 FALUN  
Enskild firma,  
Reg. Nummer 4410030433  
Mail-address: stig.morling@telia.com,

### 6.3 Bedömd "samhällsnytta" av en HTC-process vid Hofors ARV

Ett "omvandlat" blandslam vid Hofors ARV till en HTC-produkt ger följande potentiella nyttigheter i ett brett samhällsperspektiv:

- En omvandling av **kolinnehållet** i fastfasen ger tre olika utvecklingsmöjligheter:
  - a) En anrikad energikälla;
  - b) Ett material för vidareförädling till aktiverat kol, därmed möjlig att använda som del i en avancerad reningsprocess för exempelvis begränsning av läkemedelsrester;
  - c) Att vidareförädla till kompositmaterial. Det har redan genomfört försök att använda biokol som en begränsad del av ballastmaterial i betong. Andra användningsområden kan vara intressanta att utvärdera.
- En selektion av **fosforinnehållet** i fastfasen ger möjligheter att bygga upp ett återföringssystem av fosfor till markanvändning.