

# Realtidsoptimering av krossanläggningar

Konkrossar används för sönderdelning av bergmaterial inom ballast-, mineral-, och gruvindustrin. I det här projektet har realtidsoptimering för val av varvtal och spalt på konkross under drift undersökts. Syftet har varit att ta fram teorier, modeller och mjuk- och hårdvara som möjliggör realtidsoptimering av ett krossteg. Ett fast börvärde i en process som varierar mycket är sällan optimalt.

## Bakgrund och syfte

Att krossa berg är en komplex process bland annat på grund av att det inte enkelt går att tillverka enbart den produktstorlek man önskar i en kross. Det som ytterligare komplicerar processen är att många saker varierar, bland annat det ingående materialet både i storlek och i kvalitet. Dessutom slits många maskindelar, framförallt siktar och krossmantlar, vilket också påverkar processen. Det finns dock maskinparametrar som är justerbara under drift, spalten och excentervarvtalet. Justering av varvtalet skedde förr oftast genom att man bytte remskivor, men under de senaste decennierna har frekvensomformare blivit avsevärt billigare, vilket gjort att de numera är lättare att motivera för en krossanläggning. Med en frekvensomformare kan en asynkronmotors varvtal ändras steglöst under drift och då ändras också excentervarvtalet.

I detta projekt har det fokuserats på de parametrar som kan justeras under drift. Detta tillsammans med en idé om att justering

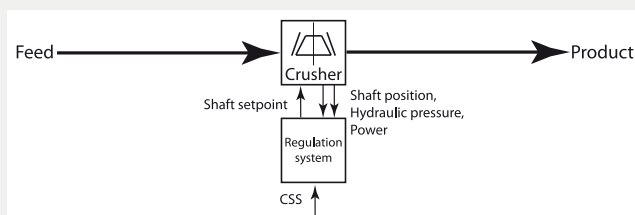
## Genomförande

Med stöd från SBUF samt Ellen, Walter och Lennart Hesselmanns stiftelse för vetenskaplig forskning och MinBaS II-programmet genom MinFo har arbetet drivits som ett forsknings- och doktorandprojekt vid Chalmers tekniska högskola och mynnat ut i en doktorsexamen för Erik Hulthén.

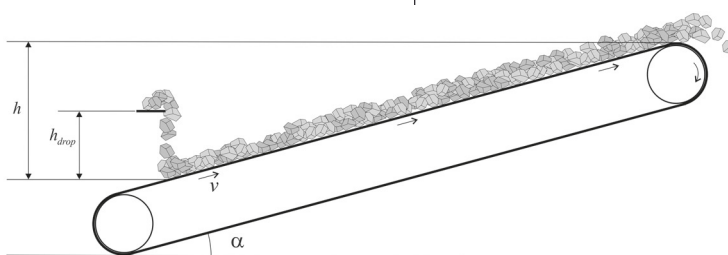
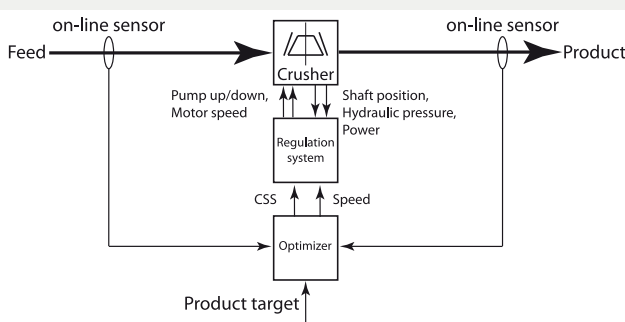
## Resultat

### Flödesmätning

Genom att mäta den elektriska effekten på motorer på transportörer som utför ett lyftarbete kan materialflödet beräknas, se figur 2. Denna princip har testats och validerats hos Jehander i Källered. Resultatet var att absolutmedelfelet gentemot en traditionell bandvåg var 1.12 %. Maxfelet var 2.33 %. Utifrån dessa resultat har principen sedan använts i projektet.



Figur 1. Konkrossar regleras idag utan återkoppling från det producerade materialet (t.v.). Ett tänkt styrsystem med återkoppling från materialet för ett krossteg (t.h.).



Figur 2. Genom att mäta den elektriska effekten kan materialflödet räknas ut i realtid utan att någon fysisk bandvåg installeras på transportören.

av dessa parametrar borde ske automatiskt har innefattats i begreppet realtidsoptimering av krossanläggningar. Operatörens roll förändras så att denne kan fokusera på vad maskinerna skall producera istället för hur, se figur 1. Operatörer på krossanläggningar är upptagna och kan inte bevaka en styrning utan återkoppling som beskrivits ovan lika effektivt som ett väl konfigurerat datorprogram.

Metoden lämpar sig särskilt väl för att se hur flödet ändrar sig under en dag eller runt en processförändring. I projektet har metoden, förutom i Kålleröd, använts på 17 transportband för att avgöra hur mycket material som transporteras. Intressenterna i projektet använder idag denna princip på mer än 60 bandtransportörer.

### Styrning av spalt i process med återkoppling

Försök i detta projekt med automatiskt val av spalt till en redan spaltstyrd kross har provats på en 36" Hydocone hos Jehander i Fjärås, se figur 3. I normala fall används spaltautomatik för att hålla spalten konstant och för att skydda krossen. Genom att mäta materialflöden med ovan nämnda princip och återkoppla dessa till en algoritm i en dator kan en spalt väljas som är optimal för utfallet. Uppgiften för anläggningen var att producera 2-5 mm ballast av ett 8-80 mm material. Biprodukten var 0-2 mm (stenmjöl) och materialet över 5 mm återcirkulerades till krossen. Detta är en tuff uppgift för krossen, som därför ofta arbetade nära sin tryckbegränsning, men trots detta lyckades en förbättring med 3.5 % i snitt uppnås.

### Varvtalsstyrning

Aktiv varvtalsstyrning provades först i Jehanders anläggning i Ludden på en Metso Nordberg HP300. Fyra flöden kring krossen mättes med ovan nämnda princip och analyserades automatiskt av en algoritm i en dator. Vad krossen producerade visades för operatören som valde princip för reglering av varvtalet; antingen hans eget val av fast varvtal eller att låta algoritmen välja varvtal. Resultatet var att ett dynamiskt varvtal i snitt var 4.2 % bättre än ett bra fast varvtal. Dessutom visade det sig att mantlarna höll 27 % längre tid med det dynamiska varvtalet. Försöken var så lyckade att anläggningen inte ville byta tillbaka till fast varvtal efteråt.

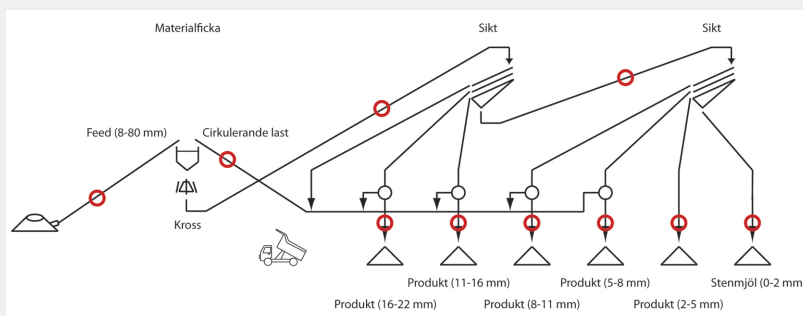
I projektets andra del försågs tredje krossteget i NCC Roads anläggning Glimmingen med både frekvensomformare och flödesmätare, se figur 4. Tack vare projektets mätningar visade det sig att anläggningens standardvarvtal var illa valt från början och prestandan från anläggningen kunde ökas med 10.8 % genom att välja ett bättre fast varvtal. För att ta med spalt och varvtal samtidigt skapades en matematisk modell för krosstegets prestanda med dessa båda parametrar som insignaler. När denna modell applicerades kunde prestandan på anläggningen ökas ytterligare jämfört med algoritmen från Ludden. För anläggningen innebar detta en total ökning med 18.5 % jämfört med hur det var innan projektets försök startade.

### Algoritmer

För att automatiskt kunna välja spalt eller varvtal utifrån vad som är bäst för produktionen har två olika algoritmer provats. Den första är en cellulär tillståndsmaskin (Finite State Machine, FSM). En FSM är en uppsättning regler som talar om i vilken riktning krossens parametrar skall styras. FSM-algoritmen har provats både för val av spalt och varvtal. Resultatet är som beskrivits ovan mellan 3.5 % och 5.6 %.



Figur 3. Jehanders krossanläggning för halkstopp i Fjärås där försöken med algoritm för val av spalt utfördes.



Figur 4. Schematisk bild över testanläggningen NCC Glimmingen med alla tio mätpunkter markerade.

För att kunna ta hand om flera parametrar samtidigt har en statistisk metod för processtyrning i fullskala kallad Evolutionary Operation (EVOP) provats. Metoden har använts för att anpassa flervariabelmodellen till verkligheten under drift. Resultatet var att en förbättring motsvarande de nivåer som beskrivits ovan kunde ses vid varje analys.

### Slutsatser

Genom att mäta mer i realtid och aktivt och dynamiskt styra sin process kan en stor förbättring i processen uppnås. I detta projekt har förbättringar på 4-18 % demonstrerats.

Tre steg mot realtidsoptimering av krossanläggningar:

- Mät mer, till exempel med effektbaserade bandvågar eller vanliga bandvågar.
- Ändra krossars varvtal genom att installera en frekvensomformare. HP-krossar bör inte köras utan varvtalsreglering.
- Låt en dator kontinuerligt övervaka och styra processen inom satta ramar.

### Ytterligare information

#### Kontaktpersoner:

**Erik Hulthén**, Chalmers tekniska högskola, tel 031-772 5854, e-post: erik.hulthen@chalmers.se.

#### Litteratur:

- Real-Time Optimization of Cone Crushers, doktorsavhandling (Doktorsavhandlingar vid Chalmers tekniska högskola. Ny serie; 3131) ISBN/ISSN: 978 1 921522 28 4, av Erik Hulthén) kan laddas ner från internet via följande länk: <http://publications.lib.chalmers.se/cpl/>

#### Internet:

[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)  
[www.avhandlingar.se/avhandling/da45496c83/](http://www.avhandlingar.se/avhandling/da45496c83/)