Sammanfattning för ansökan till “Olle Jonsson-priset” 2025

Titel: Optimering av malning i en autogenkvarn - Tillämpning av responsytemetod för optimering av malningsprocessen vid LKAB KA2

Författare: Oscar Lundqvist

Inledning och bakgrund

Detta examensarbete genomfördes vid LKAB:s anrikningsverk KA2 i Kiruna och syftade till att optimera malningsprocessen i en autogenkvarn. Autogenmalning är en process där malmen själv fungerar som malningsmedia genom nötning och krossning. Detta är en komplex process där flera faktorer påverkar effektiviteten, bland annat storleksfördelningen på den inkommande malmen. Den grova fraktionen, kallad malsten, spelar en central roll genom att bidra till malningen av det finare materialet. Andra viktiga faktorer är malmens mineralogiska egenskaper, såsom hårdhet och sprödhet, vilka inte kan påverkas i processen. Detta ställer krav på att driftförhållandena anpassas efter variationer i materialets sammansättning.

För en stabil kvarnprocess krävs att responsvariablerna Lagertryck, Effekt och PSI styrs mot sina målvärden inom givna toleransgränser. Effekt beskriver energiförbrukningen i kvarnen, Lagertryck indikerar dess fyllnadsgrad, och PSI är ett mått på finheten i materialet (andelen <45 µm). Andra analyserade responsvariabler var Pebblesproduktion (grovt material som avlägsnas ur autogenkvarnen), Specifik energiförbrukning (kWh/ton) och P45 (storleksfördelning av materialet i autogenmalningskretsen).

De styrbara faktorerna i processen är Varvtal (% av kvarnens rotationshastighet), Ingående tonnage (massflöde), Malstenskvot (andel grovfraktion) samt Spädvatten. I detta arbete studerades Varvtal, Ingående tonnage och Malstenskvot, medan Spädvatten exkluderades för att minska komplexiteten och säkerställa genomförbarhet. Varvtal och Ingående tonnage regleras i den befintliga kvarnstyrningen, medan Malstenskvoten justeras manuellt.

Trots att KA2 har en kvarnstyrning som reglerar Varvtal och Ingående tonnage för att maximera genomsättningen och minska den Specifika energiförbrukningen, så tar denna styrning inte hänsyn till interaktioner mellan faktorerna eller korrelationer mellan responsvariablerna. Detta innebär att det kan finnas en betydande förbättringspotential. Syftet med detta arbete är därför att systematiskt analysera dessa interaktioner och korrelationer för att identifiera mer optimala produktionsstrategier, vilka i sin tur kan bidra till ökad processtabilitet, förbättrad energieffektivitet och högre produktkvalitet.

Metod

Studien baserades på responsytemetodik (RSM) med en centrerad kompositdesign (CCD) för att planera och genomföra experimentet i fullskalig drift. Tre av de styrbara faktorerna – Varvtal, Ingående tonnage och Malstenskvot – varierades, medan sex responsvariabler analyserades: Effekt, Lagertryck, PSI, P45, Pebblesproduktion samt Specifik energiförbrukning (kWh/ton). Statistiska modeller estimerades med hjälp av regressionsanalys och validerades genom förklaringsgrader och modelldiagnostik. Resultaten visualiserades med hjälp av bland annat överlagrade konturplottar, vilket möjliggjorde en integrerad analys av flera responser samtidigt.

Kunskapsbidrag

Arbetet visar att responytemetodik är ett effektivt verktyg för att analysera och optimera komplexa industriella processer, vilket här har bekräftats i en fullskalig autogenkvarn. De framtagna modellerna uppvisar höga förklaringsgrader, vilket styrker metodens tillförlitlighet.

Studien har tydliggjort samband mellan flera responsvariabler och identifierat en central interaktion mellan Ingående tonnage och Varvtal, vilket återkom i flera modeller. Detta fördjupar förståelsen för processens komplexitet. Malstenskvoten visade ingen interaktion med övriga faktorer, men har en stark och självständig påverkan på både Specifik energiförbrukning och Pebblesproduktion. Detta innebär att Malstenskvoten, om den integreras i den automatiska styrningen, kan användas för att reglera Pebblesproduktionen vid över- eller underproduktion samt för att justera den Specifika energiförbrukningen beroende på produktionsmål.

Analysen av de överlagrade konturdiagrammen visar att produktionen kan maximeras samtidigt som den Specifika energiförbrukningen kan reduceras med upp till 13,8 %, beroende på önskad nedmalningsnivå. Detta innebär att en hög genomsättning och uppfyllda kvalitetskrav kan kombineras med minskad Specifik energiförbrukning, vilket i sin tur leder till betydande kostnadsbesparingar.

Sammantaget bidrar arbetet med ny kunskap om autogenmalning genom att klargöra samband mellan responsvariabler, lyfta fram viktiga interaktioner och visa hur Malstenskvoten kan användas för att styra processen mer effektivt.