

# Projektbeskrivelse

## Heterogen katalyse - Optimering af invertsukker produktion

### Motivation og formål

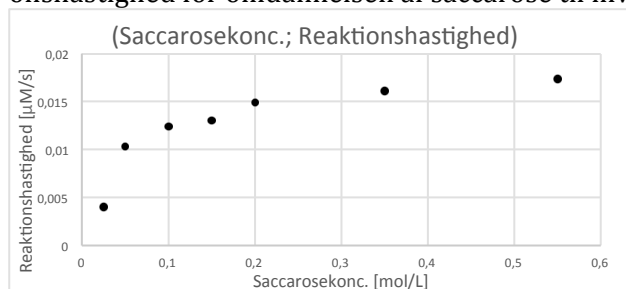
En række af de produkter, vi til dagligt benytter, fremstilles i den kemiske industri, hvor der i denne gøres meget for at optimere fremstillingsprocesserne, så det både økonomisk og miljømæssigt bliver en så effektiv produktion som muligt. I den kemiske industri er anvendelsen af katalysatorer udbredt. Katalysatorer sænker aktiveringsenergien for en reaktionsproces uden selv at blive forbrugt, og kan på den måde reducere udgifterne ved produktionen. Reaktionshastigheden for en katalytisk proces afhænger af en lang række af parametre, hvor selv små justeringer af disse kan have stor indflydelse på det endelige udbytte. I dette projekt er den kemiske proces, hvor saccarose spaltes til invertsukker ved brug af enzymet invertase forsøgt optimeret. Projektet undersøger, hvordan en række betydende forsøgsparametre har indflydelse på det endelige udbytte og reaktionshastigheden. Projektet bidrager til en øget forståelse af, hvorledes heterogen katalyse med immobiliserede enzymer kan finde anvendelse i industrien, samt hvorledes en række procesparametre har afgørende betydning for reaktionshastighed og udbytte.

### Metoder og forsøg

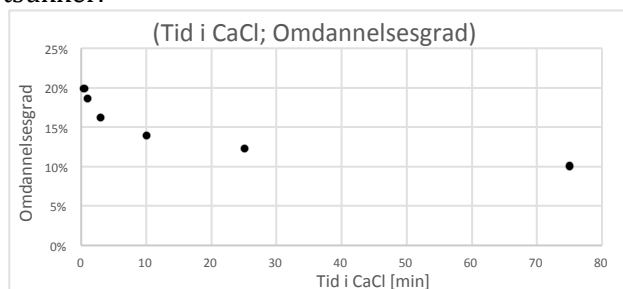
Enzymet invertase er blevet ekstraheret fra gær og dette er herefter blevet immobiliseret i alginatkugler. Alginatkugler dannes ved, at en blanding bestående af natriumalginat, enzymekstrakt og en passende buffer, tildryppes en calciumchloridopløsning. Efter immobiliseringen af enzymet i alginat, kan alginatkuglerne anvendes til heterogen katalyse. Betydningen af hhv. størrelse og geometri (form), hårdhed og antallet af alginatkugler (katalysatorpartikler) er blevet undersøgt og to forskellige reaktortyper er blevet testet. Den enzymatiske omdannelse af saccarose til invertsukker (glukose og fructose) er blevet undersøgt vha. salisylatreagensmetoden og spektrofotometri.

### Resultater

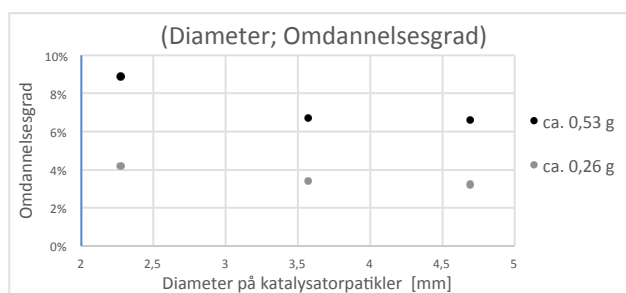
Nedenstående grafer repræsenterer et udpluk af de data der er opnået i projektet. Figur 1 viser saccarosekoncentrationens betydning for reaktionshastigheden for den enzymkatalyserende proces. Figur 2 viser alginatkuglernes opholdstid i calciumchlorids betydning for omdannelsen af substratet (lang opholdstid øger hårdheden af alginatkuglerne). Figur 3 afbilder omdannelsen af saccarose som funktion af diameteren på alginatkuglerne, og figur 4 viser sammenhængen mellem temperatur og reaktionshastighed for omdannelsen af saccarose til invertsukker.



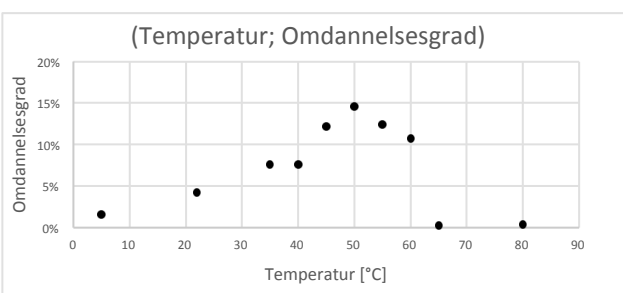
Figur 1



Figur 2

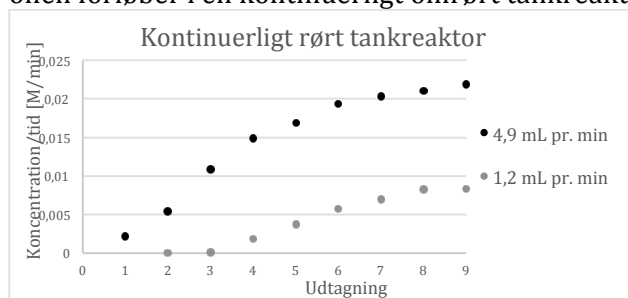


Figur 3

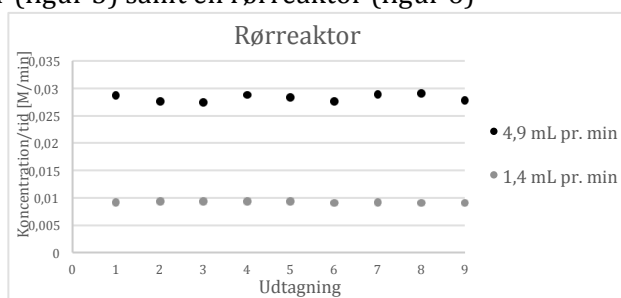


Figur 4

Optimale reaktionsbetingelser er blevet benyttet til at undersøge udbyttet af invertsukker, når reaktionen forløber i en kontinuerligt omrørt tankreaktor (figur 5) samt en rørreaktor (figur 6)



Figur 5



Figur 6

## Diskussion og konklusion

Samlet set afdækker projektet hvorledes anvendelsen af invertase i sammenhæng med heterogen katalyse kan optimeres mht. temperatur, pH, alginatkuglernes geometri og hårdhed samt reaktortype. Resultaterne viser, at invertase følger Michealis-Menten-kinetik (figur 1), hvor  $V_{max}$  og  $K_m$  ved  $50^\circ\text{C}$  er fundet til hhv.  $7,18 \cdot 10^{-5} \text{ M/s}$  og  $0,0459 \text{ M}$ . Det blev fundet at invertase har et temperaturoptimum på omkring  $50^\circ\text{C}$  (figur 4) og et pH optimum på  $4,0 - 4,8$  (data er ikke vist). En høj enzymkoncentration viste sig også at være gavnlige for udbyttet, da det ud fra forsøget viste sig, at der var en lineær sammenhæng mellem enzymkoncentration og omdannelsesgrad (data ikke vist). Der er ligeledes et lineært forhold mellem antallet af alginatkugler og reaktionshastigheden (data ikke vist). Forsøg med ændringer i koncentrationen af den alginat der blev anvendt i forbindelse med immobiliseringen viste, at denne parameter ikke umiddelbart havde indflydelse på reaktionen, hvilket muligvis skyldes, at disse meget store molekyler ikke hindrer substratet i at trænge ind i katalysatorpartiklen (data ikke vist). Et andet forsøg viste nemlig modsat, at de immobiliserede enzyms katalytiske egenskaber øges, når alginatkuglernes opholdstid i calciumchlorid ( $\text{CaCl}_2$ ) reduceres (figur 2). Dette hænger muligvis sammen med, at hårdheden af alginatkuglerne mindskes ved kortere opholdstid i calciumchlorid – en kortere opholdstid i calciumchlorid medfører muligvis en øget diffusion af substrat ind til de immobiliserede enzymer, hvilket resulterer i forbedrede katalytiske egenskaber. Undersøgelserne indikerer ligeledes, at diameteren på katalysatorpartiklen har betydning for omdannelseshastigheden (figur 3), idet en lille diameter på alginatkuglerne reducerer diffusionsafstanden og øger hastigheden på omdannelsen af saccharose til invertsukker, og herudover fås en større overflade, hvorpå reaktionen kan forløbe. Ud fra forsøgene, hvor en rørreaktor og en kontinuerligt omrørt tankreaktor blev testet, kan det konkluderes at rørreaktoren med højest gennemstrøms-hastighed gav det største udbytte og ud fra forsøgene vil det være tænkeligt, at denne reaktortype er mest fordelagtig at benytte til produktionen af invertsukker. (figur 5 og figur 6),

## Perspektivering

Igenudarbejdelsen af dette projekt blev det tydeligt at se, hvor mange forskellige parametre, som heterogene katalytiske reaktioner afhænger af, og uanset hvilken reaktion der arbejdes med, kan det konkluderes, at det er vigtigt at undersøge betydningen af samtlige af disse for at sikre sig en produktion så rentabel som muligt, idet selv små justeringer, der virker ubetydelige, kan have en betydelig indflydelse på produktionsudbyttet. For en større virksomhed vil det altså være vigtigt at nærstudere, hvordan små produktionsændringer kan forøge det samlede udbytte, så dette kan optimeres og produktionen kan effektiviseres. Herudover vil dette projekt kunne føres videre til forskning vedrørende, hvordan katalysatorer bliver påvirket af dynamiske reaktionsbetingelser, da dette er noget, der er et stort fokus på for tiden. Dette vil nemlig være fordelagtigt, så man i fremtiden vil kunne have procesor, der forløber under hele tiden varierende forhold.