

# Numerisk Integration

Søren Fritzboøger 3F  
HTX Hillerød - Erhversskolen Nordsjælland  
Vejleder: Stig og CHR

2. Februar 2015

## Abstract

This article demonstrates a basic set of LaTeX formatting commands. Compare the typeset output side-by-side with the input document.smøøre

## Indhold

<b>1</b>	<b>Indledning</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Forklaring af numerisk integration</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Trapezmetoden</b>	<b>2</b>
3.1	Bevis for trapezmetoden . . . . .	2
3.1.1	Opdeling i flere delintervaller . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Simpsons metode</b>	<b>5</b>
4.1	Bevis for Simpsons metode . . . . .	6
4.1.1	Opdeling i flere delintervaller . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Computeralgoritmer og numerisk integration</b>	<b>11</b>
5.1	Trapezmetoden . . . . .	11
5.2	Simpsons metode . . . . .	11
5.3	Analyse af nøjagtighed . . . . .	11
5.3.1	Trapezmetoden . . . . .	11
5.3.2	Simpsons metode . . . . .	11

1	INDLEDNING	2
6	Perspektivering	11
7	Konklusion	11
	Litteratur	12
8	Kildekritik	12
9	Bilag	12

## 1 Indledning

## 2 Forklaring af numerisk integration

## 3 Trapezmetoden

Trapezmetoden er en af flere metoder til at finde areal under en funktion. Det er en af de mere præcise metoder, da den, i modsætning til højre-, venstre- og middelsum, laver en trapez og ikke en firkant.

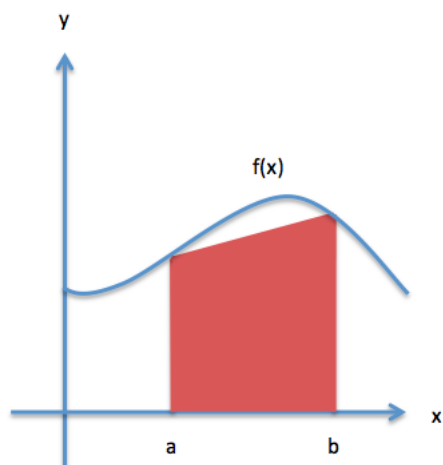
### 3.1 Bevis for trapezmetoden

Ved at bruge trapezmetoden kan vi tilnærmelsesvist finde det bestemte integral, selv for funktioner, hvor man ikke direkte kan bestemme det bestemte integral. Et eksempel på dette er funktionen  $f(x) = e^{-x^2}$ . For at bestemme arealet under en funktion vil vi gerne nærme os det bestemte integral.

$$\int_a^b f(x)dx$$

Når  $a < b$  og  $f$  er kontinuert og differentiabel i intervallet  $[a; b]$ , kan vi bruge trapezmetoden til at udregne det tilnærmelsesvist bestemte integral, som er arealet under funktionen.

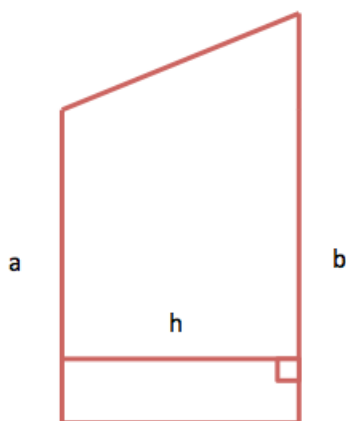
Som navnet trapezmetoden så fint hentyder til, opdeler vi vores funktion i en trapez, som vi udregner arealet af. Dette er illustreret på figur 1



Figur 1: Trapezmetoden

På figur 1 kan man se, hvordan trapezmetoden opdeler en parabel i en trapez. Denne trapez har intervallet  $[a; b]$ . Længden  $a = f(a)$  og længden  $b = f(b)$ . Formlen for arealet af en trapez ses i formel (3.1)

$$A = \frac{1}{2}h \cdot (a + b) \quad (3.1)$$



Figur 2: Trapez

Som man kan se på figur 2, er  $a$  og  $b$  er sidelænger og  $h$  er højden. I et trapez er højden defineret som afstanden mellem de to parallelle linjestykker, i dette tilfælde  $a$  og  $b$ , som man kan se illustreret på figur 2

Som man kan se på figur 2 svarer højden  $h$  til afstanden mellem  $a$  og  $b$ , som svarer til  $h = b - a$ . Når man indsætter henholdsvis  $a$  og  $b$  værdien ind i vores  $f(x)$  funktion, får vi vores  $y$  værdi, som svarer til længden af henholdsvis  $a$  og  $b$ . Hvis vi indsætter dette i arealet for en trapez, får vi derfor:

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{2}h \cdot (a + b) && \Rightarrow \\ &= \frac{1}{2}(b - a) \cdot (a + b) && \Rightarrow \\ &= \frac{b - a}{2}(a + b) && \Rightarrow \end{aligned}$$

i stedet for  $a$  og  $b$  indsættes højderne på trapezens sider,  $f(a)$  og  $f(b)$

$$= \frac{b - a}{2}(f(a) + f(b)) \quad (3.2)$$

Arealet af denne trapez svarer tilnærmelsesvist til arealet under funktionen. Så derfor kan vi sige at arealet af trapezen tilnærmelsesvist svarer til værdien af det bestemte integral:

$$\int_a^b f(x) \approx \frac{b - a}{2}(f(a) + f(b)) \quad (3.3)$$

### 3.1.1 Opdeling i flere delintervaller

Som man kan se på figur 1 er trapezmetoden meget upræcis i forhold til det bestemte integral. Dette kan man forbedre ved at dele intervallet  $[a; b]$  op i flere delintervaller,  $n$ . Dvs. at vi deler vores funktion op i mindre intervaller, som vi så finder arealet af med trapezmetoden. Disse delintervaller kalder vi for  $x_0, x_1, \dots, x_n$ . Vi skal bruge højden på trapezen, som er længden af delintervallet  $x_0 - x_1$ . I dette tilfælde svarer det til:

$$h = x_1 - x_0 = x_2 - x_1 = \dots = x_n - x_{n-1} \quad (3.4)$$

Ud fra dette kan vi bestemme at højden,  $h$ , må svare til intervallet  $[a; b]$  opdelt i  $n$  intervaller:

$$h = \frac{b-a}{n} \quad (3.5)$$

Det samlede areal under funktionen kan betegnes som summen af alle delintervallerne:

$$A = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{h}{2} (f(x_i) + f(x_{i+1})) \approx \int_a^b f(x) \quad \text{hvor } h = \frac{b-a}{n} \quad (3.6)$$

Når  $n$  går mod uendelig bliver vores delinterval infinitesimalt lille, hvilket vil sige at summen af alle trapezarealerne nærmer sig det bestemte integral. Det bestemte integral svarer faktisk til at vi deler arealet op i uendelige små og uendelig mange led.

For at udlede dette til formlen for trapezmetoden bliver vi nødt til at opskrive dette på en lidt anden måde.

$$\begin{aligned} A &= \frac{h}{2}(f(x_0) + f(x_1)) + \frac{h}{2}(f(x_1) + f(x_2)) + \cdots + \frac{h}{2}(f(x_{n-1}) + f(x_n)) \\ &= h\left(\frac{1}{2}f(x_0) + \frac{1}{2}f(x_1)\right) + h\left(\frac{1}{2}f(x_1) + \frac{1}{2}f(x_2)\right) + \cdots + h\left(\frac{1}{2}f(x_{n-1}) + \frac{1}{2}f(x_n)\right) \\ &= h \cdot \frac{1}{2}f(x_0) + h \cdot \frac{1}{2}f(x_1) + h \cdot \frac{1}{2}f(x_1) + h \cdot \frac{1}{2}f(x_2) + \cdots + h \cdot \frac{1}{2}f(x_{n-1}) + h \cdot \frac{1}{2}f(x_n) \end{aligned}$$

Dette bliver reduceret til formlen for trapezmetoden (3.7)

$$\boxed{\int_a^b f(x) \approx \frac{h}{2}(f(x_0) + 2f(x_1) + \cdots + 2f(x_{n-1}) + f(x_n))} \quad (3.7)$$

Hvor  $h = \frac{b-a}{n}$

## 4 Simpsons metode

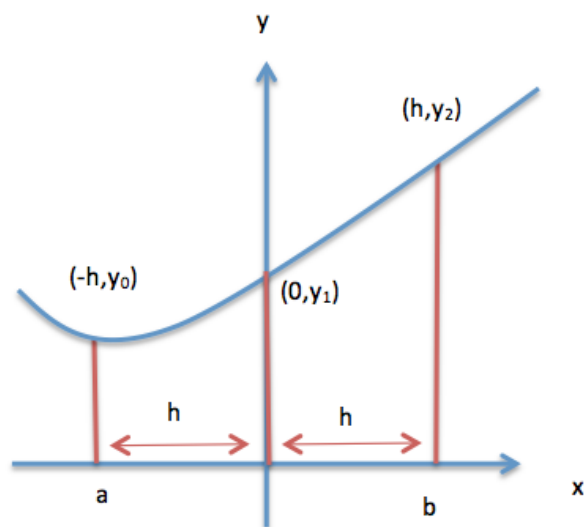
En anden metode til tilnærmelsesvist at udregne arealet under en funktion er simpsons-metoden, som virker ved at dele funktionen op i mindre parabler, man så finder arealet under. Denne metode er mere præcis end trapezmetoden<sup>1</sup>, og giver derfor et resultat som oftest har en meget lille afvigelse fra det korrekte resultat, det bestemte integral.

---

<sup>1</sup>[4, side 15]

### 4.1 Bevis for Simpsons metode

Simpsons metode er som nævnt, en anden metode til tilnærmelsesvist at finde det bestemte integral, selv for funktioner, hvor man ikke direkte kan bestemme det bestemte integral. Med trapezmetoden, se afsnit 3, brugte man en ret linje fra  $f(a)$  til  $f(b)$  i intervallet  $[a; b]$ , hvilket selvfølgelig ikke er helt præcis, da en funktion ikke nødvendigvis er ret. Med Simpsons metode opdeler man intervallet  $[a; b]$  i en parabel ud fra 3 punkter,  $a, b, c$ . Disse tre punkter kan bruges til at opstille en simplere parabel, som vi så kan regne arealet under. Parablens ligning ser således ud:  $y = ax^2 + bx + c$



Figur 3: Simpsons metode

Figur 3 viser hvilke punkter vores parabel går gennem når vi har intervallet  $[a; b]$ . Ligesom med trapezmetoden kan man opdele funktionen i  $n$  antal dele. Til at starte med går vi ud fra at  $n = 2$ , for at gøre det nemt. I afsnit 4.1.1 bliver der viderebygget på Simpsons metode med flere intervaller. Som man også kan se på figuren bliver  $[a; b]$  delt op i to, hvor  $\Delta x = h$ . Dette viser sig også i punkterne som henholdsvis er  $(-h, y_0)$ ,  $(0, y_1)$  og  $(h, y_2)$ . Intervallet  $[a; b]$  opdeles i  $n$  antal delintervaller, som for dette tilfælde er 2, hvilket giver

afstanden  $h$  mellem vores punkter.

$$\begin{aligned} h &= \frac{b-a}{n} \\ &= \frac{b-a}{2} \end{aligned} \quad \text{Når } n = 2 \quad (4.1)$$

Vi ved at vores parabel går fra  $-h$  til  $h$  og at den har forskriften  $y = ax^2 + bx + c$ . Dette simple udtryk for vores parabel kan vi bestemme det bestemte integral af, da vi ved at  $f(x) = y$ . Vi finder dermed det bestemte areal under en parabel med forskriften  $y = ax^2 + bx + c$  fra  $-h$  til  $h$

$$\begin{aligned} A &= \int_{-h}^h f(x) dx \\ &= \left[ \frac{ax^3}{3} + \frac{bx^2}{2} + cx \right]_{-h}^h \\ &= \left( \frac{ah^3}{3} + \frac{bh^2}{2} + ch \right) - \left( -\frac{ah^3}{3} + \frac{bh^2}{2} - ch \right) \\ &= \frac{ah^3}{3} + \frac{ah^3}{3} + \frac{bh^2}{2} - \frac{bh^2}{2} + ch + ch \\ &= \frac{2ah^3}{3} + 2ch \\ &= \frac{h}{3}(2ah^2 + 6c) \end{aligned} \quad (4.2)$$

Nu skal vi finde vores 2 ubekendte, som er  $2ah^2$  og  $c$ . Dette kan vi gøre ved at opstille tre ligninger for parablen,  $y = ax^2 + bx + c$ , med vores tre punkter  $(-h, y_0)$ ,  $(0, y_1)$ ,  $(h, y_2)$  fra figur 3, hvor vi så har 3 ubekendte. Vi går ud fra at  $y$  svarer til punkternes  $y$ -koordinat og  $x$  til vores  $x$ -koordinat.

$$y_0 = ah^2 - bh + c \quad \text{Hvor } (x, y) = (-h, y_0) \quad (4.3)$$

$$y_1 = a \cdot 0^2 + b \cdot 0 + c \Rightarrow$$

$$y_1 = c \quad \text{Hvor } (x, y) = (0, y_1) \quad (4.4)$$

$$y_2 = ah^2 + bh + c \quad (x, y) = (h, y_2) \quad (4.5)$$

Som man kan se på ligningen for  $y_1$  (4.3) har vi allerede fået isoleret vores  $c$  værdi, som svarer til  $c = y_1$ . Vi vil gerne have isoleret  $2ah^2$ , og dette kan vi

gøre ved at substituere  $c$  ind i de to ligninger for  $y_0$  og  $y_2$  og derefter ligge dem sammen.

Det gør vi således:

$$\begin{aligned} y_0 &= ah^2 - bh + c && \Rightarrow && \text{Hvor } c = y_1 \\ y_0 &= ah^2 - bh + y_1 && \Rightarrow && \\ y_0 - y_1 &= ah^2 - bh && && \end{aligned} \quad (4.6)$$

$$\begin{aligned} y_2 &= ah^2 + bh + c && \Rightarrow && \text{Hvor } c = y_1 \\ y_2 &= ah^2 + bh + y_1 && \Rightarrow && \\ y_2 - y_1 &= ah^2 + bh && && \end{aligned} \quad (4.7)$$

Ligning (4.6) og (4.7) ligges nu sammen, så vi kan isolere den sidste og manglende ubekendte,  $2ah^2$ .

$$\begin{aligned} y_2 - y_1 &= ah^2 - bh && + \\ y_0 - y_1 &= ah^2 + bh && \\ &&& = \\ ah^2 - bh + bh &= y_2 + y_0 - y_1 - y_1 \Rightarrow \\ ah^2 &= y_2 + y_0 - 2y_1 && \end{aligned} \quad (4.8)$$

$ah^2$  og  $c$  substitueres nu ind i formel (4.2) som ser således ud:  $A = \frac{h}{3}(2ah^2 + 6c)$ .

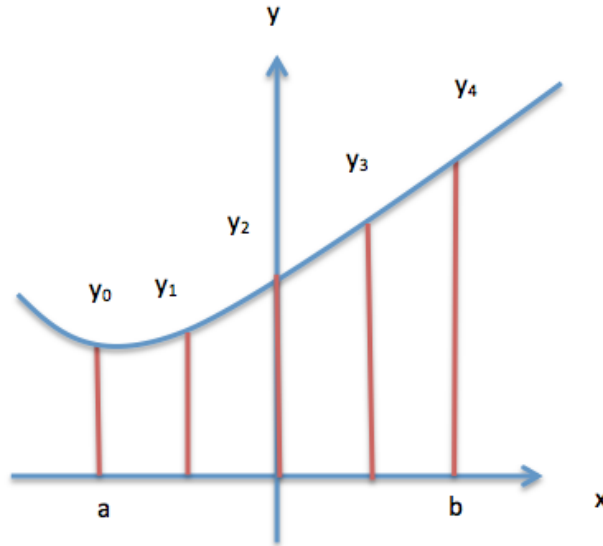
$$\begin{aligned} A &= \frac{h}{3}(2ah^2 + 6c) \\ &= \frac{h}{3}((y_2 + y_0 - 2y_1) + 6 \cdot y_1) \\ &= \frac{h}{3}(y_0 + 4y_1 + y_2) && \end{aligned} \quad (4.9)$$

#### 4.1.1 Opdeling i flere delintervaller

Når vi deler vores interval op i flere delintervaller, dvs. at  $n$  bliver større, kan vi finde summen af  $n$  antal delintervaller mellem  $[a; b]$ . På figur 4 kan man



se et eksempel på en opdeling med  $n = 2$ , hvor vi faktisk har 2 parabler. En fra  $y_0$  til  $y_2$  gennem  $y_1$  og en fra  $y_2$  til  $y_4$  gennem  $y_3$ .



Figur 4: Opdeling i flere delintervaller

Ved hjælp af formel (4.9) kan vi udregne arealet af en parabel fra  $y_0$  til  $y_2$ . Men hvis vi udvider denne som man kan se på figur 4, kan vi fortsætte simpsonsreglen fra  $y_2$  til  $y_4$ , og dermed få det samlede areal for  $[a; b]$  som går fra  $y_0$  til  $y_4$ , som man kan se på figur 4. Summen af arealet fra  $[a; b]$  når opdelingen  $n = 4$

$$\begin{aligned}
 A_{[a;b]} &= \frac{h}{3}(y_0 + 4y_1 + y_2) + \frac{h}{3}(y_2 + 4y_3 + y_4) \\
 &= \frac{h}{3}(y_0 + 4y_1 + y_2 + y_2 + 4y_3 + y_4) \\
 &= \frac{h}{3}(y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + y_4)
 \end{aligned}
 \quad \text{Hvor } y = f(x) \quad (4.10)$$

Det samme sker hvis vi har en opdeling på  $n = 6$

$$A_{[a;b]} = \frac{h}{3}(y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + 2y_4 + 4y_5 + y_6) \quad \text{Når } n = 6 \quad (4.11)$$

Ud fra dette kan vi opstille en ligning der siger at summen af alle delarealerne i intervallet  $[a; b]$  opdelt i  $n$  delintervaller tilnærmelsesvist må svare til det bestemte integral.

$$A = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^{n/2} \frac{h}{3} (y_{i-2} + 4y_{i-1} + y_i) \approx \int_a^b f(x) \quad \text{hvor } h = \frac{b-a}{n} \quad (4.12)$$

Når  $n$  går mod uendelig bliver vores delinterval infinitesimalt lille, hvilket vil sige at summen af alle vores delintervaller, hvor vi har udregnet arealet under parablen. På den måde nærmer det, vha. Simpsons metode, udregnede areal tilnærmelsesvist det bestemte integral.

For at udlede dette til formlen for Simpsons metode, skal vi kigge nærmere på formel (4.9) og omskrive denne til at  $n$  går mod uendelig.

$$\begin{aligned} A &= \frac{h}{3} (f(x)_0 + 4f(x)_1 + f(x)_2) && \text{Hvor } f(x) = y \text{ og } n = 2 \\ &= \frac{h}{3} (f(x_0) + 4f(x_1) + f(x_2) + f(x_2) + 4f(x_3) + f(x_4) + \cdots + f(x_{n-2}) + 4f(x_{n-1}) + f(x_n)) \end{aligned}$$

Dette bliver reduceret til Simpsons metode (4.13)

$$\int_a^b \approx \frac{h}{3} (f(x_0) + 4f(x_1) + 2f(x_2) + 4f(x_3) + \cdots + f(x_{n-2}) + 4f(x_{n-1}) + f(x_n))$$

(4.13)

Hvor  $h = \frac{b-a}{n}$  og  $n$  er lige

## 5 Computeralgoritmer og numerisk integration

### 5.1 Trapezmetoden

### 5.2 Simpsons metode

### 5.3 Analyse af nøjagtighed

#### 5.3.1 Trapezmetoden

#### 5.3.2 Simpsons metode

## 6 Perspektivering

## 7 Konklusion

## Litteratur

- [1] Christopher R. Johnson, *Denne kilde er et dokument med beviser, beskrivelse og andet af numerisk integration.*  
Hamlet Project, Department of Computer Science, University of Utah,  
<http://www.cs.utah.edu/~zachary/computing/lessons/uces-13/uces-13/contents-node1.html>
- [2] @mattmight, *En "tutorial" der viser hvordan man tegner en graf vha. html5 og canvas.*  
<http://matt.might.net/articles/rendering-mathematical-functions-in-javascript-with-canvas-html/>
- [3] Aalborg Universitet, *Et foredrag fra Aalborg Universitet omhandlende Numerisk Integration.*  
<http://staff.iha.dk/jse/bioproc/Forelaesningsnoter/BI1MAT1/Numeriske%20metoder%201.pdf>
- [4] Undervisningsministeriet, *Forberedelse til Matematik A højere teknisk eksamen 2012*, <http://uvm.dk/~media/UVM/Filer/Udd/Gym/PDF12/Proever%20og%20eksamen/120608%20Mat%20A%20htx%20Forberedelsesmateriale.pdf>

## 8 Kildekritik

## 9 Bilag