

## Studieretningsprojekt

Elev: Søren Fritzboøger  
Klasse: 2f 2013 it-klasse

Fag:	Vejleder:
Matematik A	Stig Nørskov Jacobsen Email: snj@esnord.dk
Informationsteknologi B	Christian Reinhold Email: chr@esnord.dk

### Opgaveformulering:

Når man i matematik skal bestemme arealet af en punktmængde i planen givet ved

$M = \{(x, y) \mid a \leq x \leq b \wedge 0 \leq y \leq f(x)\}$  ved brug af formelen  $A = \int_a^b f(x) dx$ . I mange tilfælde er det dog ikke muligt at bestemme stamfunktionen, hvorfor man må bruge andre metoder., En af disse metoder er numerisk integration.

- Forklar kort hvad der menes med numerisk integration.
- Redegør for numerisk integration ved hjælp af trapezmetoden og Simpsons metode.
- Redegør for hvorledes forskellige metoder til numerisk integration kan omsættes til et IT-program, og vurder effektiviteten og nøjagtigheden af metoden.

Opgavens omfang omfatter normalt mellem 10-15 normalsider, (2400 anslag med mellemrum) med mindre andet er aftalt med vejledende lærer, samt et engelsk resumé på ca. 15 linjer. Opgaven skal forsynes med forside, indholdsfortegnelse og evt. bilag, samt litteraturhenvisninger og litteraturliste, (papirudgaven må ikke have spiralryg). En mere udførlig vejledning til opgaveskrivning generelt, kan findes På [www.skrivopgave.dk](http://www.skrivopgave.dk)

Opgaven printes ud i 1 eksemplar, og skal desuden afleveres digitalt i Lectio. Hver fil må max. fylde 50 mb.

Papirudgaven (opgaven + opgaveformuleringen + bilag) afleveres i chartek eller i tilbudsmappe (1 eksemplar) på kontoret til Elsebeth Sørensen/Katja Ravn, der ud over skal du aflevere digitalt på Lectio via link på din forside.

Papirudgaven og digital opgave skal afleveres senest **mandag den 2. februar kl. 13.30**, hvorefter der vil være lukket for digital aflevering. **Aflevering af SRP er en del af eksamen og forudsætning for at fortsætte på uddannelsen.**

# Numerisk Integration

Søren Fritzboøger 3F

HTX Hillerød - Erhversskolen Nordsjælland

Vejledt af Stig Nørskov Jacobsen og Christian Reinhold

2. Februar 2015

## Abstract

This paper examines numerical integration and the methods used to approximate the definite integral. It also determines the knowledge needed to translate a mathematical equation to a working computer algorithm. Finally it evaluates the accuracy and efficiency of the methods and corresponding algorithms. The examined methods are called “The trapezoidal rule” and “Simpson’s Rule”, and they aim to approach to value of the definite integral. The examination of the two numerical methods, The trapezoidal rule, and Simpson’s rule shows, that they are effective and working methods to determine the value of the definite integral, even for functions that can’t directly be integrated. The results from the evaluation of efficiency and accuracy, shows that Simpson’s rule is both the fastest and most precise method for determining the areal under a function. There is also a significant difference between the speed and accuracy of the methods, where Simpson’s rule wins with the fastest total calculation time for the exact value of the definite integral.

# Indhold

<b>1</b>	<b>Indledning</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Forklaring af numerisk integration</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Trapezmetoden</b>	<b>3</b>
3.1	Bevis for trapezmetoden . . . . .	4
3.1.1	Opdeling i flere delintervaller . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Simpsons metode</b>	<b>7</b>
4.1	Bevis for Simpsons metode . . . . .	7
4.1.1	Opdeling i flere delintervaller . . . . .	10
<b>5</b>	<b>Numerisk integration og computere</b>	<b>13</b>
5.1	Effektivitetsoptimering i JavaScript . . . . .	13
5.2	Opbygning af algoritmerne . . . . .	14
5.2.1	Trapezmetoden . . . . .	14
5.2.2	Simpsons metode . . . . .	16
5.3	Vurdering af effektiviteten og nøjagtigheden . . . . .	17
5.3.1	Nøjagtighed og effektivitet når $f(x) = e^x$ . . . . .	17
5.3.2	Nøjagtighed og effektivitet når $f(x) = e^{-x^2}$ . . . . .	18
<b>6</b>	<b>Konklusion</b>	<b>20</b>
<b>7</b>	<b>Litteraturliste</b>	<b>21</b>
<b>8</b>	<b>Kildekritik</b>	<b>21</b>
<b>9</b>	<b>Bilag</b>	<b>23</b>
9.1	Bilag 1 - Regneregler for integralregning . . . . .	23

# 1 Indledning

Når man skal bestemme arealet under en funktion, kan man finde det bestemte integral. Men for nogle funktioner er det ikke muligt at bestemme det bestemte integral. I dette tilfælde kan man bruge numerisk integration til tilnærmelsesvist at bestemme arealet under funktionen. I dette projekt vil jeg kort forklare hvad der menes med numerisk integration, og følgende redegøre for numerisk integration ved hjælp af Trapezmetoden og Simpsons metode. Efterfølgende vil jeg redegøre for, hvorledes metoderne kan omsættes til et IT-program og vurdere effektiviteten og nøjagtigheden af metoderne.

Jeg vil redegøre for både Trapezmetoden og Simpsons metode, ved at udlede og bevise deres formler, og senere vise at de også kan beregne arealet under en funktion, der ikke direkte kan integreres. Jeg vil vurdere effektiviteten og nøjagtigheden af metoderne, ved først at omsætte dem til en algoritme, og herefter indsamle data vedrørende nøjagtighed og effektivitet. Jeg vil undersøge hvor lang beregningstiden er for hver funktion og sætte dem op mod hinanden. Jeg vil også undersøge nøjagtigheden for metoderne og tilhørende algoritme, ved at sammenligne med det bestemte integral.

## 2 Forklaring af numerisk integration

Numerisk integration kan også kaldes for tilnærmelsesvist bestemmelse af det bestemte integral  $\int_a^b f(x)dx$ .<sup>1</sup> Normalt bruger man bestemte integraller til dette, men når funktionen er så avanceret, som f.eks.  $f(x) = e^{-x^2}$ , er det ikke muligt at bruge bestemt integration til at finde arealet.<sup>2</sup> Numerisk integration opdeler funktionen i mindre stykker, og udregner herefter arealet af stykkerne og finder summen. Der findes flere forskellige metoder til at udregne arealet. Blandt dem kan nævnes Middelsum, Trapezmetoden og Simpsons metode. Trapezmetoden og Simpsons metode er de 2, der som regel er mest præcise, men det er selvfølgelig også de mest avancerede.

## 3 Trapezmetoden

Trapezmetoden er en af flere metoder til at finde arealet 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.

---

<sup>1</sup>[1]

<sup>2</sup>[3]

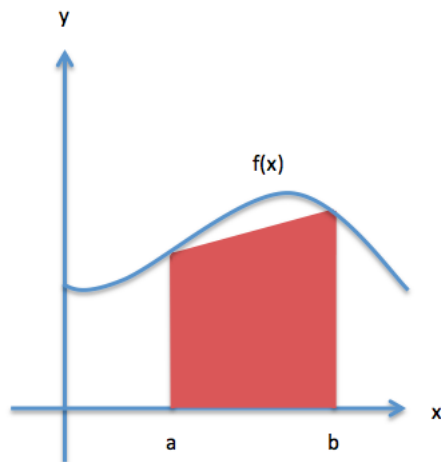
### 3.1 Bevis for trapezmetoden

Ved at bruge trapezmetoden kan vi tilnærmelsesvist finde det bestemte integral, selv for funktioner, hvor man ikke direkte kan bestemme det bestemte integral.<sup>3</sup> Et eksempel på dette er funktionen  $f(x) = e^{-x^2}$ .<sup>4</sup> 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

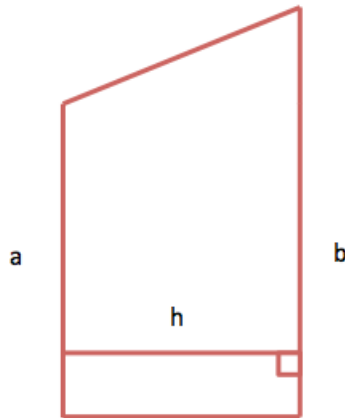
På figur 1 kan man se, hvordan trapezmetoden opdeler en parabel i en trapez. Denne trapez har intervallet  $[a; b]$ . Længden  $a = f(a)$  og længden  $b = f(b)$ . Formlen for arealet af en trapez ses i formel (3.1)

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

---

<sup>3</sup>[3, s. 13]

<sup>4</sup>[3, s. 12]



Figur 2: Trapez

Som man kan se på figur 2, er  $a$  og  $b$  sidelængder 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  $b$  værdierne ind i  $f(x)$  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  $f(b)$

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

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 fra  $x_0$  til  $x_1$ . 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 formelen for trapezmetoden bliver vi nødt til at opskrive formel (3.6) på en lidt anden måde.

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

Dette bliver reduceret til formelen for trapezmetoden<sup>5</sup> (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 metode, som virker ved at dele funktionen op i mindre parabler, man så finder arealet under. Denne metode er mere præcis end trapezmetoden<sup>6</sup>, og giver derfor et resultat som oftest har en meget lille afvigelse fra det korrekte resultat, det bestemte integral.

### 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 præcist, da en funktion ikke nødvendigvis er ret. Med Simpsons metode opdeler man intervallet  $[a; b]$  i en parabel ud fra 3 punkter,  $a, b, c$ .<sup>7</sup> Disse tre punkter kan bruges til at opstille en simple parabel, som vi så kan regne arealet under. Parablens ligning ser således ud:  $y = ax^2 + bx + c$

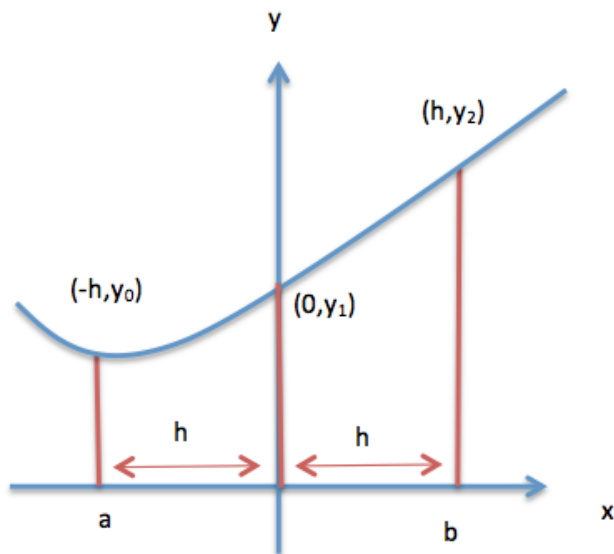
---

<sup>5</sup>[3, s. 14]

<sup>6</sup>[3, s. 15]

<sup>7</sup>[2]





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.

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

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 integral under en parabel

med forskriften  $y = ax^2 + bx + c$  fra  $-h$  til  $h$ <sup>8</sup>

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

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.

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

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

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

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

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.

---

<sup>8</sup>Der er brugt regneregler for integralregning til at finde det bestemte integral for funktionen, som kan ses i bilag 1

Det gør vi således:

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

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

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

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

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

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

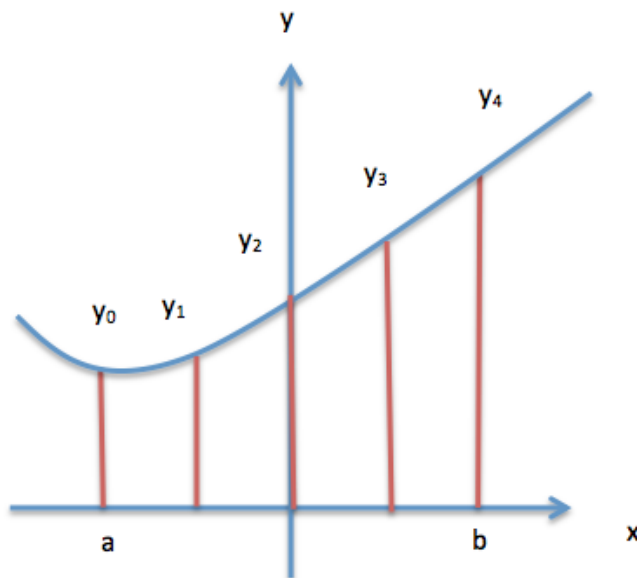
#### 4.1.1 Opdeling i flere delintervaller

Når vi deler vores interval op i flere delintervaller, dvs. at  $n$  bliver større, kan vi finde summen af  $n$  antal delintervaller mellem  $[a; b]$ .<sup>9</sup> Vi skal bruge 2 delintervaller per parabel, da parablen dannes over 3 punkter, og derfor skal  $n$  være lige.<sup>10</sup> På figur 4 kan man se et eksempel på en opdeling med  $n = 4$ , 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  $y_3$ .

---

<sup>9</sup>[3, s. 15-16]

<sup>10</sup>[3, s. 15-16]



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 Simpsons metode 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  $n = 4$ :

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

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.

$$A = \frac{h}{3}(f(x)_0 + 4f(x)_1 + f(x)_2) \quad \text{Hvor } f(x) = y \text{ og når } n = 2$$

$$= \frac{h}{3}(f(x_0) + 4f(x_1) + f(x_2) + f(x_2) + 4f(x_3) + f(x_4) + \cdots + f(x_{n-2}) + 4f(x_{n-1}) + f(x_n))$$

Dette bliver reduceret til Simpsons metode<sup>11</sup> (4.13)

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

(4.13)

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

---

<sup>11</sup>[3, s. 16]

## 5 Numerisk integration og computere

Når man skal omsætte en matematisk formel, til noget computeren kan forstå og regne med, skal man lave en såkaldt *algoritme*. En algoritme er en forskrift til løsning af et matematisk eller logisk problem, hvor man kender antallet af beregningsskridt<sup>12</sup>. I dette tilfælde er forskriften de 2 udledte formler trapezmetoden (3.7), og Simpsons metode (4.13), fra afsnit 3 og 4, der tilnærmelsesvist bestemmer det bestemte integral. Samtidig kender vi også antallet af beregningsskridt, da dette er antallet af delintervaller  $n$ . Derfor kan vi med sikkerhed sige, at vi kan lave en algoritme der tilnærmelsesvist udregner arealet under en vilkårlig matematisk funktion. Når man skal skrive en algoritme til en computer, skal dette gøres i et programmeringssprog<sup>13</sup>, som f.eks. JavaScript, PHP, C++, Java eller lignende. Hvert sprog kan bruges til forskellige ting og på forskellige enheder. Nogle programmeringssprog bruges til regulære computerprogrammer, mens andre er udviklet til at fungere i en webbrowser som Chrome, Internet Explorer og lignende.

Når man arbejder med algoritmer, er der nogle ting, som er meget vigtige at have styr på. Det ene er selvfølgelig, at algoritmen giver et korrekt resultat, altså at den er nøjagtig, og det andet er hvor lang tid algoritmen bruger på udregningerne. Der skal være en fin balance mellem nøjagtigheden og effektiviteten. Nogle gange er det meget vigtigt at algoritmen er 100% nøjagtig, mens at andre algoritmer er så avancerede, at en 100% nøjagtighed tager for lang tid. Nogle algoritmer kan være så komplekse og kræve så store beregningsmæssige ressourcer, at de ikke kan løses med de computere, vi har adgang til i dag.<sup>14</sup>

Jeg har brugt JavaScript til at opbygge mine algoritmer for Trapezmetoden og Simpsons metode. Fordelen ved JavaScript er at det kan køre i browseren, og det er derfor forholdsvis nemt for alle at køre. Samtidig er JavaScript et af de sprog, der har en mere simpel syntaks, så det er nemt at forstå, og det er derfor også meget tilgængeligt.

### 5.1 Effektivitetsoptimering i JavaScript

Når man skal skrive en algoritme, er det næsten umuligt ikke at have et såkaldt *loop*. Et loop, løkke på dansk, er en kode, der kører så længe at en defineret erklæring passer. Den løkke jeg skal bruge til mine algoritmer, skal køre  $n$  antal gange, altså den skal køre det antal gange, jeg har delt mit interval op i. I teorien kan  $n$  bevæge sig mod uendelig, men dette vil så også tage op mod uendelig tid.

---

<sup>12</sup>[4][Version2.dk]

<sup>13</sup>[5][Den store danske]

<sup>14</sup>[4]

For at finde en 100% præcis værdi af vores numeriske integration, kan vi godt risikere at vi kommer op på et delinterval på flere millioner. Derfor at det vigtigt at vi optimerer løkken mest muligt, da det er en kode, der potentielt skal køre mange millioner gange.

En måde at optimere løkken på, er ved at vælge en while-løkke i stedet for en for-løkke. Et hurtigt eksperiment<sup>15</sup> viser, at while-løkken i gennemsnit er en smule hurtigere<sup>16</sup>. Eksperimentet udførte kun en meget simpel beregning, hvor den algoritme vi skal udregne, er meget mere avanceret. Derfor kan der være en stor besparelse i tid og beregningskraft, hvis man bruger en while-løkke i stedet for en for-løkke.

## 5.2 Opbygning af algoritmerne

Når man skal lave en algoritme til en matematisk funktion, er det vigtigt at have analyseret formlen først, så man kan skabe en præcis og effektiv algoritme. Jeg har udarbejdet en fungerende algoritme, som jeg har prøvet at effektivisere så meget som muligt. Derefter har jeg analyseret nøjagtigheden og effektiviteten af både metoden og algoritmen.

### 5.2.1 Trapezmetoden

Formlen for Trapezmetoden (3.7), som også kan ses på side 7, ser således ud:

$$\int_a^b f(x) \approx \frac{h}{2}(f(x_0) + 2f(x_1) + \dots + 2f(x_{n-1}) + f(x_n)) \quad \text{Hvor } h = \frac{b-a}{n}$$

Når man analyserer Trapezmetoden i forhold til at skulle lave en algoritme, er der et par ting man skal have fokus på. For det første er  $\frac{h}{2}$  uden for parenteser, hvilket gør at vi til sidst i algoritmen kan udregne summen af delarealerne multipliceret med  $\frac{h}{2}$ . En anden ting er, at første og sidste punkt, henholdsvis  $x_0$  og  $x_n$  ikke skal ganges med 2 ligesom resten af delarealerne. Derfor kan vi sætte disse to uden for vores hoved-løkke, hvilket gør at vi ikke skal bekymre os om dem i løkken. Ud fra denne korte analyse har jeg skrevet min algoritme for Trapezmetoden i intervallet  $[a; b]$  og med antallet af delintervaller  $n$ .

Algoritme 1: "udregnArealTrapezmetoden()"

```
1 function udregnArealTrapezmetoden(a,b,n) {  
2   var h = (b-a)/n;
```

---

<sup>15</sup>[6]

<sup>16</sup>Det skal nævnes at det ikke er et 100% korrekt eksperiment, da andre processer fra computeren, kan have haft en rolle i beregningstiden. Hvis man dog fjerner de meget afvigende resultater fra det samlede billede, er while-løkken stadig gennemsnitlig hurtigst.

```

3  var funktion = document.getElementById("funktion").value;
4
5  var w = 1;
6  var x = a;
7
8  var areal = eval(funktion);
9  while(w < n) {
10     x = x + h;
11     areal += 2*eval(funktion);
12     w++;
13 }
14
15 x = b;
16 areal += eval(funktion);
17 areal = (h/2)*areal;
18
19 return areal;
20 }

```

Min algoritme er opbygget som en funktion med variabler  $a, b, n$ .  $a$  er startintervallet,  $b$  er slutintervallet og  $n$  er antal delintervaller, præcis som i formelen for Trapezmetoden.  $h$  defineres præcis som i Trapezmetoden, dvs  $h = \frac{b-a}{n}$ . Variablen *funktion* tager værdien fra et input, der har id'et "funktion", som indeholder vores funktion formateret som JavaScript. Et eksempel på dette ses her for  $f(x) = e^{-x^2}$

```

1  Math.exp(Math.pow(-x,2))

```

Variablen  $w$  er vores tæller som starter på 1.  $x$  bliver sat til  $a$ , da vi skal substituere  $x$  ind i vores funktion. På linje 8 udregnes arealet af  $x_1$ , som sker før vores løkke, som nævnt i analysen. På linje 9 starter vores løkke, som kører så længe  $w$  er mindre end  $n$ . Dvs. at løkken kører lige ind til vi når sidste punkt,  $x_{n-1}$ , så vi kan regne  $x_n$  særskilt. Inde i løkken bliver  $x$  sat til længden af delintervallet,  $h$  lagt sammen med sig selv, når vi finder den næste  $x$ -værdi i intervallet. Så udregnet arealet af delintervallet og ligges til variabelen *areal*. Derefter lægger vi 1 til  $w$ , så den tæller op mod  $n$ . Efter løkken har kørt, sætter vi  $x$  til at være vores sidste punkt,  $b$ , og regner arealet for det sidste delinterval. Til sidst ganges hele det udregnede delareal med  $\frac{h}{2}$  for at finde det samlede areal. Funktionen returnerer arealet til sidst.



### 5.2.2 Simpsons metode

Formlen for Simpsons metode (4.13), som også kan ses på side 12, ser således ud:

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

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

Simpsons metode ser en del anderledes ud end Trapezmetoden, så derfor skal den analyseres anderledes, og algoritmen kommer formentlig også til at blive mere avanceret.

Igen har vi  $h$  uden for parentesen, dog bare  $\frac{h}{3}$  i stedet. Samtidig skal punkt  $x_0$  og  $x_n$  ikke ganges med noget, så de kan også beregnes uden for løkken. En ting der skal lægges meget mærke til ved Simpsons metode, er at den skifter mellem at multiplicere med 4 og 2. En måde at beskrive det er, at alle ulige skal ganges med 4 og lige med 2. Derfor skal løkken indeholde en *if/else* sætning, der tjekker om det er et lige eller ulige antal vi beregner på. Ud fra denne analyse, har jeg skrevet min algoritme for Simpsons metode i intervallet  $[a; b]$  og med antallet af delintervaller  $n$

Algoritme 2: "udregnArealSimpsonsMetode()"

```
1 function udregnArealSimpsonsMetode(a,b,n) {
2   var h = (b-a)/n;
3   var funktion = document.getElementById("funktion").value;
4
5   var w = 1;
6   var x = a;
7
8   var areal = eval(funktion);
9   while(w < n) {
10    x = x + h;
11    if(w%2 == 0)
12      areal += 2*eval(funktion);
13    else
14      areal += 4*eval(funktion);
15
16    w++;
17  }
18
19  x = b;
20  areal += eval(funktion);
21  areal = (h/3)*areal;
22
23  return areal;
24 }
```

Igen er algoritmen opbygget som en funktion med intervallet  $[a; b]$  og antal delintervaller  $n$ . De første 8 linjer er præcis det samme som i Algoritme 1: "udregnArealTrapezmetoden()", hvor der defineres forskellige variabler, og arealet for  $x_1$  udregnes. Det næste er while-løkken på linje 9 som kører så længe  $w$  er mindre end antal delintervaller  $n$ . Først sættes  $x$  til at være næste delinterval, og dernæst tjekkes der om tælleren,  $w$ , er et lige eller ulige tal. Dette gør den vha. modulus funktionen, (*skrives % i JavaScript*), som er en matematisk funktion. Modulus svarer til det positive heltal, der er i rest, når man dividerer. Så når man tager modulus 2 af et tal, giver det enten en rest på 1, når tallet af ulige, og ellers en rest på 0, da alle lige tal går op i 2. Arealet af delintervallet regnes så ud fra denne *if/else*-sætning, hvor lige ganges med 2 og ulige med 4. Resten af koden afviger kun fra algoritmen til Trapezmetoden ved at gange det samlede udregnede areal med  $\frac{h}{3}$  som det står i Simpsons metode (4.13).

### 5.3 Vurdering af effektiviteten og nøjagtigheden

Til at vurdere nøjagtigheden, vil jeg både vurdere selve metoden og algoritmen. Hvis algoritmen er skrevet korrekt, burde der ikke være forskel på nøjagtigheden i forhold til metoden. Jeg vil undersøge nøjagtigheden ud fra resultatet af algoritmen/metoden opdelt i forskellige delintervaller  $n$ , i forhold til det bestemte integral.

Effektiviteten kan være svær at vurdere, da jeg ikke har noget at stille mine data op imod. Jeg har undersøgt hvor lang tid det tager, at køre algoritmen med forskellige delintervaller. Denne tid kan sammenlignes med nøjagtigheden af algoritmen, og ud fra det vil jeg vise en sammenhæng mellem præcision og hastighed. Jeg har udvalgt 2 funktioner som minder om hinanden, dog er den ene en del mere avanceret end den anden. Den ene er  $e^x$  og den anden  $e^{-x^2}$ . Den anden funktion,  $e^{-x^2}$ , er en af de funktioner man ikke kan bestemme det bestemte integral af, mens den første er simpel at bestemme. Til at bestemme arealet der er så tæt på det bestemte integral som muligt for  $e^{-x^2}$ , har jeg brugt Mathcad<sup>17</sup>, som har givet den værdi der står i tabel 3 og 4

#### 5.3.1 Nøjagtighed og effektivitet når $f(x) = e^x$

Funktionen  $e^x$  er en forholdsvis simpel funktion, som er nem at bestemme integralet af. Hvis vi sammenligner resultater fra Trapezmetoden og Simpsons metode fra tabel 1 og 2, og kigger på nøjagtigheden af metoderne og algoritmerne, tegner der sig et klart billede. Simpsons metode er den mest præcise, og rammer allerede det bestemte integral ved  $n = 14$  som man kan se på tabel 2. Derimod

<sup>17</sup>Mathcad bruger også Numerisk integration til at udregne arealet, men delintervallet i Mathcad er meget højt, og derfor går jeg ud fra at tallet er præcist nok til at sammenligne med.

skal Trapezmetoden bruge et antal delintervaller på hele 180, for at bestemme det korrekte areal.

Tabel 1: Nøjagtighed af Trapezmetoden for  $f(x) = e^x$  i intervallet  $[-1; 3]$

$n$	Beregningstid	Trapezmetoden	Bestemt integral
2	0.05ms	25.89	19.718
4	0.016ms	21.334	19.718
10	0.019ms	19.98	19.718
20	0.022ms	19.738	19.718
40	0.029ms	19.734	19.718
180	0.088ms	19.718	19.718

Tabel 2: Nøjagtighed af Simpsons metode for  $f(x) = e^x$  i intervallet  $[-1; 3]$

$n$	Beregningstid	Simpsons metode	Bestemt integral
2	0.0179ms	20.884	19.718
4	0.026ms	19.815	19.718
10	0.040ms	19.72	19.718
14	0.050ms	19.718	19.718

Hvis man kigger på effektiviteten af algoritmerne, altså hvor stor beregningstid de har, kan man se at trapezmetoden er hurtigere per delinterval. Dog skal den bruge 0.088ms for at finde det korrekte areal, mod 0.050ms for Simpsons metode.

Ud fra disse observationer og resultaterne fra tabel 1 og 2 kan vi sige, at Trapezmetoden har den korteste beregningstid per delinterval, men at Simpsons metoden er mest effektiv, og giver det mest nøjagtige resultat når  $f(x) = e^x$ .

### 5.3.2 Nøjagtighed og effektivitet når $f(x) = e^{-x^2}$

$f(x) = e^{-x^2}$  er en del mere avanceret funktion end  $e^x$ . Dette kan man også se på tabel 3 og 4, da Simpsons metode først finder det rigtige resultat ved  $n = 252$ . Dog har trapezmetoden problemer ved at finde det korrekte areal, da den selv ved 2000 delintervaller, stadig ikke har fundet det Mathcad-udregnede areal.

Tabel 3: Nøjagtighed af Trapezmetoden for  $f(x) = e^{-x^2}$  i intervallet  $[-1; 3]$

$n$	Beregningstid	Trapezmetoden	Bestemt integral
2	0.020ms	8111.239	1446.008
4	0.020ms	4111.218	1446.008
10	0.021ms	2032.925	1446.008
20	0.022ms	1603.752	1446.008
40	0.036ms	1486.247	1446.008
180	0.090ms	1448.008	1446.008
400	0.182ms	1446.413	1446.008
2000	1.008ms	1446.024	1446.008

Tabel 4: Nøjagtighed af Simpsons metode for  $f(x) = e^{-x^2}$  i intervallet  $[-1; 3]$

$n$	Beregningstid	Simpsons metode	Bestemt integral
2	0.018ms	5411.117	1446.008
4	0.020ms	2777.877	1446.008
10	0.039ms	1593.515	1446.008
20	0.025ms	1460.694	1446.008
40	0.037ms	1447.079	1446.008
180	0.098ms	1446.011	1446.008
252	0.129ms	1446.008	1446.008

Igen er trapezmetoden den hurtigste per delinterval, men den bliver over-  
skygget af Simpsons metode til at udregne det nøjagtige resultat hurtigst og ved  
færrest delintervaller.

Alt i alt kan man med sikkerhed sige, at Simpsons metode både er den mest  
nøjagtige og effektive metode. Den er hurtigst til at finde det rigtige resultat,  
da den finder det rigtige resultat ved færre delintervaller, og gør det samlet set  
hurtigere end Trapezmetoden.

## 6 Konklusion

I denne opgave har jeg kort forklaret om numerisk integration og redegjort for de to numeriske metoder Trapezmetoden og Simpsons metode. Derudover har jeg omsat metoderne til en computer-algoritme, hvor jeg har vurderet effektiviteten og nøjagtigheden af både metoden og algoritmen. Ud fra min redegørelse af Trapezmetoden kan jeg konkludere, at summen af delarealerne i intervallet  $[a; b]$  tilnærmelsesvist svarer til det bestemte integral. Det samme gør sig gældende for Simpsons metode, hvor jeg dog også kan konkludere, at resultatet teoretisk set bliver mere præcist ved færre delintervaller end ved Trapezmetoden. Når man skal omsætte en matematisk formel til et computer-program, skal man lave en algoritme. Det er vigtigt at algoritmen giver det korrekte resultat, og at den gør dette mest effektivt. Ud fra mine algoritmer kan jeg konkludere, at det er muligt at omsætte metoderne til numerisk integration til noget computeren kan forstå. Samtidig har jeg også vist, at numerisk integration kan bruges til at udregne arealet under funktioner, som ikke direkte kan integreres. Til sidst har jeg undersøgt effektiviteten af mine algoritmer, og kommet frem til at Simpsons metode er den mest nøjagtige og effektive metode.

## 7 Litteraturliste

- [1] Den Store Danske - Mogens Esrom Larsen, *Numerisk Integration*, Besøgt d. 30/01/2015  
[http://www.denstoredanske.dk/It,\\_teknik\\_og\\_naturvidenskab/Matematik\\_og\\_statistik/It\\_og\\_numerisk\\_analyse/numerisk\\_integration](http://www.denstoredanske.dk/It,_teknik_og_naturvidenskab/Matematik_og_statistik/It_og_numerisk_analyse/numerisk_integration)
- [2] Interactive Maths - Murray Bourne, *Simpson's Rule*, Besøgt d. 26/01/2015  
<http://www.intmath.com/integration/6-simpsons-rule.php>
- [3] Undervisningsministeriet, *Forberedelse til Matematik A højere teknisk eksamen 2012*, Besøgt d. 24/01/2015  
<http://uvm.dk/~media/UVM/Filer/Udd/Gym/PDF12/Proever%20og%20eksamen/120608%20Mat%20A%20htx%20Forberedelsesmateriale.pdf>
- [4] Version2.dk - Klaus Hansen og Casper Thomsen, *Leksikon: Algoritme*, Besøgt d. 30/01/2015  
<http://www.version2.dk/leksikon/Algoritme>
- [5] Den Store Danske - Jens Clausen og senere af Uffe Rasmussen, *Algoritme*, Besøgt d. 30/01/2015  
[http://www.denstoredanske.dk/It,\\_teknik\\_og\\_naturvidenskab/Informatik/Software,\\_programmering,\\_internet\\_og\\_webkommunikation/algoritme](http://www.denstoredanske.dk/It,_teknik_og_naturvidenskab/Informatik/Software,_programmering,_internet_og_webkommunikation/algoritme)
- [6] Stoimen's web log, *JavaScript Performance: for vs. while*, Besøgt d. 28/01/2015  
<http://www.stoimen.com/blog/2012/01/24/javascript-performance-for-vs-while/>

## 8 Kildekritik

Det er vigtigt at have styr på sin kildekritik, så man sikrer at det faglige indhold er velskrevet og korrekt. Det handler om at undersøge forfatteren, kilden (internetsiden, bogen osv.) og selve indholdet, og konkludere om det er brugbart og faktisk korrekt, inden man begynder at overveje kildens brug til opgaven.

Til at udarbejde denne SRP har jeg prøvet hovedsageligt at vælge godkendte

leksikon hjemmesider. Eksempler på dette er Den Store Danske, som bliver udgivet af Gyldendal. På Den Store Danske har brugerne ikke mulighed for at rette artiklerne, men det er derimod godkendte brugere og Den Store Danskes egne redaktører der vedligeholder artiklerne og sikrer det faglige indhold.

Udover henvisningerne til Den Store Danske, har jeg fået udleveret *Forberedelse til Matematik A højere teknisk eksamen 2012* som er hovedkilden til afsnittet om numerisk integration. Dette forberedelsesmateriale er udarbejdet af Undervisningsministeriet, hvilket sikrer et højt og korrekt fagligt niveau.

Version2.dk og Stoimen's web log, er mindre og sekundære kilder, hvor det er svært at bestemme det faktuelle niveau. Version2.dk beskæftiger sig med IT generelt, og har en af Danmarks største blogs inden for IT-nyheder, så går ud fra at deres leksikon er fagligt korrekt. Stoimen's web log er dog en del mere usikker, men herfra er der ikke udtaget faktuelle data. Den sidste side, Interactive Maths, er også besværlig at bestemme det faktuelle niveau. Dog er udgiveren en professor i matematik, som har undervist i mange år. Samtidig er der mange brugeranmeldelser, der verificerer faktaene.

Jeg har haft svært ved at finde relevante bøger til kildehenvisning. Fandt bogen *Introduction to numerical methods and analysis*, men indholdet var kortfattet og indeholdte ikke nyttigt information til min opgave.

## 9 Bilag

### 9.1 Bilag 1 - Regneregler for integralregning

afledet funktion $f'$	Funktion $f$	En stamfunktion $F$ til $f$
0	$a$	$ax$
$a \cdot x^{a-1}$	$x^a$	$\frac{1}{a+1} x^{a+1}$
$-x^{-2}$	$x^{-1} = \frac{1}{x}$	$\ln x $
$\frac{1}{2} x^{-1/2} = \frac{1}{2\sqrt{x}}$	$x^{1/2} = \sqrt{x}$	$\frac{2}{3} x^{3/2} = \frac{2}{3} x\sqrt{x}$
$x^{-1}$	$\ln(x)$	$x \cdot \ln(x) - x$
$a^x \cdot \ln(a)$	$a^x$	$\frac{a^x}{\ln(a)}$
$k \cdot e^{kx}$	$e^{kx}$	$\frac{1}{k} e^{kx}$
$\cos(x)$	$\sin(x)$	$-\cos(x)$
$-\sin(x)$	$\cos(x)$	$\sin(x)$
$\frac{1}{(\cos(x))^2} = 1 + (\tan(x))^2$	$\tan(x)$	$-\ln \cos(x) $
$-2 \cos(x) \cdot \sin(x)$	$(\cos(x))^2$	$\frac{1}{2}(x + \sin(x) \cdot \cos(x))$
$2 \sin(x) \cdot \cos(x)$	$(\sin(x))^2$	$\frac{1}{2}(x - \sin(x) \cdot \cos(x))$
$(\tan(x))^3 + 2 \tan(x)$	$(\tan(x))^2$	$\tan(x) - x$