0.1 Faktorisering

0.1 Kvadratsetningene

For to reelle tall a og b er

$$(a+b)^2 = a^2 + 2ab + b^2 \qquad \text{(1. kvadratsetning)}$$

$$(a-b)^2 = a^2 - 2ab + b^2 \qquad \text{(2. kvadratsetning)}$$

$$(a+b)(a-b) = a^2 - b^2 \qquad \text{(3. kvadratsetning)}$$

Språkboksen

$(a+b)^2$ og $(a-b)^2$ kalles **fullstendige kvadrat**.

3. kvadratsetning kalles også **konjugatsetningen**.

Eksempel 1

Skriv om $a^2 + 8a + 16$ til et fullstendig kvadrat.

Svar

$$\begin{aligned} a^2 + 8a + 16 &= a^2 + 2\cdot 4a + 4^2 \\ &= (a+4)^2 \end{aligned}$$

Eksempel 2

Skriv om $k^2 + 6k + 7$ til et uttrykk der k er et ledd i et fullstendig kvadrat.

Svar

$$\begin{aligned} k^2 + 6k + 7 &= k^2 + 2\cdot 3k + 7 \\ &= k^2 + 2\cdot 3k + 3^2 - 3^2 + 7 \\ &= (k+3)^2 - 2 \end{aligned}$$

Eksempel 3

Faktoriser $x^2 - 10x + 16$.

Svar

Vi starter med å lage et fullstendig kvadrat:

$$\begin{aligned} x^2 - 10x + 16 &= x^2 - 2 \cdot 5x + 5^2 - 5^2 + 16 \\ &= (x-5)^2 - 9 \end{aligned}$$

Vi legger merke til at $9 = 3^2$, og bruker 3. kvadratsetning:

$$\begin{aligned} (x-5)^2 - 3^2 &= (x-5+3)(x-5-3) \\ &= (x-2)(x-8) \end{aligned}$$

Altså er

$$x^2 - 10x + 16 = (x-2)(x-8)$$

0.1 Kvadratsetningene (forklaring)

Kvadratsetningene følger direkte av distributiv lov ved multiplikasjon (se MB).

0.2 Sum-produkt-metoden

Gitt $x, b, c \in \mathbb{R}$. Hvis $a_1 + a_2 = b$ og $a_1 a_2 = c$, er

$$x^2 + bx + c = (x + a_1)(x + a_2) \tag{1}$$

Eksempel 1

Faktoriser uttrykket $x^2 - x - 6$.

Svar

Siden $2(-3) = -6$ og $2 + (-3) = -1$, er

$$x^2 - 1x - 6 = (x+2)(x-3)$$

Eksempel 2

Faktoriser uttrykket $b^2 - 5b + 4$.

Svar

Siden $(-4)(-1) = 4$ og $(-4) + (-1) = -5$, er

$$b^2 - 5b + 4 = (b - 4)(b - 1)$$

Eksempel 3

Løs ulikheten

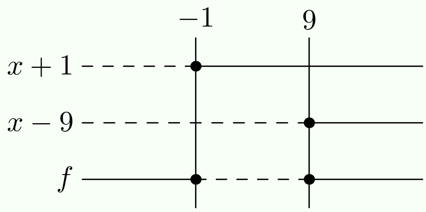
$$x^2 - 8x - 9 \leq 0$$

Svar

Siden $1(-9) = -9$ og $1 + (-9) = -8$, er

$$x^2 - 8x - 9 = (x + 1)(x - 9)$$

Vi setter $f = (x + 1)(x - 9)$, og lager et **fortegnsskjema**:



Fortegnsskjemaet illustrerer følgende:

- Uttrykket $x + 1$ er negativt når $x < -1$, lik 0 når $x = -1$, og positivt når $x > -1$.
- Uttrykket $x - 9$ er negativt når $x < 9$, lik 0 når $x = 9$, og positivt når $x > 9$.
- Siden $f = (x + 1)(x - 9)$, er

$$f > 0 \text{ når } x \in [-\infty, -1) \cup (9, \infty]$$
$$f = 0 \text{ når } x \in \{-1, 9\}$$
$$f < 0 \text{ når } x \in (-1, 9)$$

Altså er $x^2 - 8x - 9 \leq 0$ når $x \in [-1, 9]$.

0.2 Sum-produkt-metoden (forklaring)

Vi har at

$$\begin{aligned}(x+a_1)(x+a_2) &= x^2 + xa_2 + a_1x + a_1a_2 \\ &= x^2 + (a_1+a_2)x + a_1a_2\end{aligned}$$

Hvis $a_1 + a_2 = b$ og $a_1a_2 = c$, er

$$(x+a_1)(x+a_2) = x^2 + bx + c$$

0.2 Andregradslikninger

0.3 Andregradslikning med konstantledd

Gitt likningen

$$ax^2 + bx + c = 0 \tag{2}$$

hvor $a, b, c \in \mathbb{R}$. Da er

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \qquad (abc\text{-formelen})$$

Hvis $x = x_1$ og $x = x_2$ er løsningene gitt av abc-formelen, er

$$ax^2 + bx + c = a(x - x_1)(x - x_2) \tag{3}$$

Eksempel 1

a) Løs likningen $2x^2 - 7x + 5 = 0$.

b) Faktoriser uttrykket på venstre side i oppgave a).

Svar

a) Vi bruker abc-formelen. Da er $a = 2$, $b = -7$ og $c = 5$. Nå får vi at

$$\begin{aligned} x &= \frac{-(-7) \pm \sqrt{(-7)^2 - 4 \cdot 2 \cdot 5}}{2 \cdot 2} \\ &= \frac{7 \pm \sqrt{49 - 40}}{4} \\ &= \frac{7 \pm \sqrt{9}}{4} \\ &= \frac{7 \pm 3}{4} \end{aligned}$$

Enten er

$$x = \frac{7+3}{4} = \frac{5}{2}$$

eller så er

$$x = \frac{7-3}{4} = 1$$

b) $2x^2 - 7x + 5 = 2(x-1)\left(x - \frac{5}{2}\right)$

Eksempel 2

Løs likningen

$$x^2 + 3 - 10 = 0$$

Svar

Vi bruker *abc*-formelen. Da er $a = 1$, $b = 3$ og $c = -10$. Nå får vi at

$$\begin{aligned} x &= \frac{-3 \pm \sqrt{3^2 - 4 \cdot 1 \cdot (-10)}}{2 \cdot 1} \\ &= \frac{-3 \pm \sqrt{9 + 40}}{2} \\ &= \frac{-3 \pm 7}{2} \end{aligned}$$

Altså er

$$x = -5 \qquad \vee \qquad x = 2$$

Eksempel 3

Løs likningen

$$4x^2 - 8x + 1$$

Svar

Av *abc*-formelen har vi at

$$\begin{aligned} x &= \frac{8 \pm \sqrt{(-8)^2 - 4 \cdot 4 \cdot 1}}{2 \cdot 4} \\ &= \frac{8 \pm 4\sqrt{4 - 1}}{8} \\ &= \frac{2 \pm \sqrt{3}}{2} \end{aligned}$$

Altså er

$$x = \frac{2 + \sqrt{3}}{2} \quad \vee \quad \frac{2 - \sqrt{3}}{2}$$

Andregradslikninger (forklaring)

Gitt likningen

$$ax^2 + bx + c = 0$$

Vi starter med å omskrive likningen:

$$x^2 + \frac{b}{a}x + \frac{c}{a} = 0$$

Så lager vi et fullstendig kvadrat, og anvdender konjugatsetningen til å faktorisere uttrykket:

$$\begin{aligned}
x^2 + \frac{b}{a}x + \frac{c}{a} &= x^2 + 2 \cdot \frac{b}{2a}x + \frac{c}{a} \\
&= \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 - \frac{b^2}{4a^2} + \frac{c}{a} \\
&= \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 - \frac{b^2 - 4ac}{4a^2} \\
&= \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 - \left(\sqrt{\frac{b^2 - 4ac}{4a^2}}\right)^2 \\
&= \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 - \left(\frac{\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}\right)^2 \\
&= \left(x + \frac{b}{2a} + \frac{\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}\right)\left(x + \frac{b}{2a} - \frac{\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}\right)
\end{aligned}$$

Uttrykket over er lik 0 når

$$x = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \qquad \vee \qquad x = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

0.3 Polynomdivisjon

0.3.1 Metoder

Når to gitte tall ikke er delelige med hverandre, kan vi bruke brøker for å uttrykke kvotienten. For eksempel er

$$\frac{17}{3} = 5 + \frac{2}{3} \tag{4}$$

Tanken bak (4) er at vi skriver om telleren slik at vi får fram den delen av 17 som er delelig med 3:

$$\frac{17}{3} = \frac{5 \cdot 3 + 2}{3} = 5 + \frac{2}{3}$$

Den samme tankegangen kan brukes for brøker med polynomer, og da kalles det **polynomdivisjon**.

Eksempel 1

Utfør polynomdivisjon på uttrykket

$$\frac{2x^2 + 3x - 4}{x + 5}$$

Svar

Metode 1

Vi gjør følgende trinnvis; med den største potensen av x i telleren som utgangspunkt, lager vi uttrykk som er delelige med telleren.

$$\begin{aligned}
\frac{2x^2 + 3x - 4}{x + 5} &= \frac{2x(x+5) - 10x + 3x - 4}{x + 5} \\
&= 2x + \frac{-7x - 4}{x + 5} \\
&= 2x + \frac{-7(x+5) + 35 - 4}{x + 5} \\
&= 2x - 7 + \frac{31}{x + 5}
\end{aligned}$$

Metode 2 (Se utregningen under punktene)

i) Vi observerer at leddet med den høyste ordenen av x i dividenden er $2x^2$. Dette uttrykket kan vi få fram ved å multiplisere dividenden med $2x$. Vi skriver $2x$ til høgre for likhetstegnet, og subtraherer $2x(x+5) = 2x^2 + 10x$.

ii) Differansen fra punkt ii) er $-7x - 4$. Vi kan få fram leddet med høyest ordenen av x ved å multiplisere dividenden med -7. Vi skriver -7 til høgre for likhetstegnet, og subtraherer $-7(x+5) = -7x - 5$.

iii) Differansen fra punkt iii) er 31. Dette er et uttrykk som har lavere orden av x enn dividenden, og dermed skriver vi $\frac{31}{x+5}$ til høgre for likhetstegnet.

$$
\begin{array}{l}
(2x^2 + 3x - 4) : (x+5) = 2x - 7 + \dfrac{31}{x+5} \\
-\underline{(2x^2 + 10x)} \\
\qquad\qquad -7x - 4 \\
\qquad\quad -\underline{(-7x - 35)} \\
\qquad\qquad\qquad 31
\end{array}
$$

Eksempel 2

Utfør polynomdivisjon på uttrykket

$$\frac{x^3 - 4x^2 + 9}{x^2 - 2}$$

Svar

Metode 1

$$\begin{aligned}\frac{x^3 - 4x^2 + 9}{x^2 - 2} &= \frac{x(x^2 - 2) + 2x - 4x^2 + 9}{x^2 - 2} \\ &= x + \frac{-4x^2 + 2x + 9}{x^2 - 2} \\ &= x + \frac{-4(x^2 - 2) - 8 + 2x + 9}{x^2 - 2} \\ &= x - 4 + \frac{2x + 1}{x^2 - 2}\end{aligned}$$

Metode 2

$$\begin{array}{l} (x^3 - 4x^2 + 9) : (x^2 - 2) = x - 4 + \dfrac{2x + 1}{x^2 - 2} \\ -\underline{(x^3 - 2x)} \\ \qquad - 4x^2 + 2x + 9 \\ \quad - \underline{(- 4x^2 + 8)} \\ \qquad\qquad 2x + 1 \end{array}$$

Eksempel 3

Utfør polynomdivisjon på uttrykket

$$\frac{x^3 - 3x^2 - 6x + 8}{x - 4}$$

Svar

Metode 1

$$\begin{aligned}
\frac{x^3 - 3x^2 - 6x + 8}{x - 4} &= \frac{x^2(x-4) + 4x^2 - 3x^2 - 6x + 8}{x - 4} \\
&= x^2 + \frac{x^2 - 6x + 8}{x - 4} \\
&= x^2 + \frac{x(x-4) + 4x - 6x + 8}{x - 4} \\
&= x^2 + x + \frac{-2x + 8}{x - 4} \\
&= x^2 + x - 2
\end{aligned}$$

Metode 2

$$\begin{array}{l}
(x^3 - 3x^2 - 6x + 8) : (x - 4) = x^2 + x - 2 \\
-\underline{(x^3 - 4x^2)} \\
\qquad\qquad x^2 - 6x + 8 \\
\quad - \underline{(-x^2 - 4x)} \\
\qquad\qquad\quad - 2x + 8 \\
\qquad\qquad - \underline{(-2x + 8)} \\
\qquad\qquad\qquad\quad 0
\end{array}$$

0.3.2 Delelighet og faktorer

Eksemplene på side 8 - 11 peker på noen viktige sammenhenger som gjelder for generelle tilfeller:

0.4 Polinomdivisjon

La A_k betegne et polynom A med grad k. Gitt polynomet P_m, da fins polynomene Q_n, S_{m-n} og R_{n-1}, hvor $m \geq n > 0$, slik at

$$\frac{P_m}{Q_n} = S_{m-n} + \frac{R_{n-1}}{Q_n} \tag{5}$$

Språkboksen

Hvis $R_{n-1} = 0$, sier vi at P_m er **delelig** med Q_n.

Eksempel 1

Undersøk om polynomene er delelige med $x - 3$.

a) $P(x) = x^3 + 5x^2 - 22x - 56$

b) $K(x) = x^3 + 6x^2 - 13x - 42$

Svar

a) Ved polynomdivisjon finner vi at

$$\frac{P}{x-2} = x^2 + 8x + 2 - \frac{50}{x-2}$$

Altså er P *ikke* delelig med $x - 3$.

b) Ved polynomdivisjon finner vi at

$$\frac{K}{x-2} = x^2 + 9x + 14$$

Altså er K delelig med $x - 3$.

0.5 Faktorer i polynomer

Gitt et polynom $P(x)$ og en konstant a. Da har vi at

$$P \text{ er delelig med } x - a \iff P(a) = 0 \tag{6}$$

Hvis dette stemmer, fins det et polynom $S(x)$ slik at

$$P = (a - x)S \tag{7}$$

Eksempel 1

Gitt polynomet

$$P(x) = x^3 - 3x^2 - 6x + 8$$

a) Vis at $x = 1$ løser likningen $P = 0$.

b) Faktoriser P.

Svar

a) Vi undersøker $P(1)$:

$$\begin{aligned} P(1) &= 1^3 - 3 \cdot 1^3 - 6 \cdot 1 + 8 \\ &= 0 \end{aligned}$$

Altså er $P = 0$ når $x = 1$.

b) Siden $P(1) = 0$, er $x - 1$ en faktor i P. Ved polynomdivisjon finner vi at

$$P = (x - 1)(x^2 - 2x - 8)$$

Da $2(-4) = -8$ og $-4 + 2 = -2$, er

$$x^2 - 2x - 8 = (x + 2)(x - 4)$$

Dette betyr at

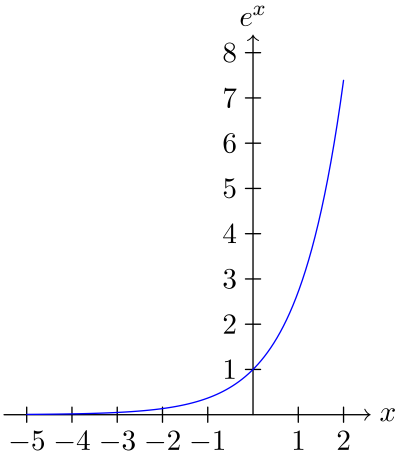
$$P = (x - 1)(x + 2)(x - 4)$$

0.4 Eulers tall

Eulers tall er en konstant som har så stor betydning i matematikk at den har fått sin egen bokstav; e. Tallet er irrasjonalt[1], og de ti første sifrene er

$$e = 2.718281828...$$

De mest fascinerende egenskapene til dette tallet kommer til syne når man undersøker funksjonen $f(x) = e^x$. Dette er en eksponentialfunksjon som er så viktig at den rett og slett går under navnet **eksponentialfunksjonen**. Denne funksjonen skal vi undersøke nærmere i vedlegg **??** og kapittel **??**.



[1]Og trascendentalt.

0.5 Logaritmer

I MB så vi på potenstall, som består av et grunntall og en eksponent. En **logaritme** er en matematisk operasjon relativ til et tall. Hvis en logaritme er relativ til grunntallet til en potens, vil operasjonen resultere i ekspontenten.

Logaritmen relativ til 10 skrives $\log_{10}$. Da er for eksempel

$$\log_{10} 10^2 = 2$$

Videre er for eksempel

$$\log_{10} 1000 = \log_{10} 10^3 = 3$$

Følelig kan vi skrive

$$1000 = 10^{\log_{10} 1000}$$

Med potensreglene som ugangspunkt (se MB), kan man utlede mange regler for logartimer.

0.6 Logaritmer

La $\log_a$ betegne logaritmen relativ til $a > 0$. For $m \in \mathbb{R}$ er da

$$\log_a a^m = m \tag{8}$$

Alternativt kan vi skrive

$$m = a^{\log_a m} \tag{9}$$

Eksempel 1

$$\log_5 5^9 = 9$$

Eksempel 2

$$3 = 8^{\log_8 3}$$

Språkboksen

$\log_{10}$ skrives ofte som $\log$, mens $\log_e$ skrives ofte som $\ln$ eller (!) $\log$. Når man bruker digitale hjelpemidler til å finne verdier til logaritmer er det derfor viktig å sjekke hva som er grunntallet. I denne boka skal vi skrive $\log_e$ som $\ln$.

Logaritmen med e som grunntall kalles den **naturlige logaritmen**.

Eksempel 3

$$\log 10^7 = 7$$

Eksempel 4

$$\ln e^{-3} = -3$$

0.7 Logaritmeregler

Merk: Logaritmereglene er her gitt ved den naturlige logaritmen. De samme regelene vil gjelde ved å erstatte ln med $\log_a$, og e med a, for $a > 0$.

For $x, y > 0$ har vi at

$$\ln e = 1 \tag{10}$$

$$\ln 1 = 0 \tag{11}$$

$$\ln(xy) = \ln x + \ln y \tag{12}$$

$$\ln\left(\frac{x}{y}\right) = \ln x - \ln y \tag{13}$$

For et tall y og $x > 0$, er

$$\ln x^y = y \ln x \tag{14}$$

Eksempel 1

$$\ln\left(ex^5\right) = \ln e + \ln x^5 = 1 + 5\ln x$$

Eksempel 2

$$\ln \frac{1}{2} = \ln 1 - \ln 2 = \ln 2$$

Logaritmerregler (forklaring)

Likning (10)

$$\ln e = \ln e^1 = 1$$

Likning (11)

$$\ln 1 = \ln e^0 = 0$$

Likning (12)

For $m, n \in \mathbb{R}$, har vi at

$$\begin{aligned} \ln e^{m+n} &= m + n \\ &= \ln e^m + \ln e^n \end{aligned}$$

Vi setter[1] $x = e^m$ og $y = e^n$. Siden $\ln e^{m+n} = \ln(e^m \cdot e^n)$, er da

$$\ln(xy) = \ln x + \ln y$$

Likning (13)

Ved å undersøke $\ln a^{m-n}$, og ved å sette $y = a^{-n}$, blir forklaringen tilsvarende den gitt for likning (12).

Likning (14)

Siden $x = e^{\ln x}$ og[2] $\left(e^{\ln x}\right)^y = e^{y \ln x}$, har vi at

$$\begin{aligned} \ln x^y &= \ln e^{y \ln x} \\ &= y \ln x \end{aligned}$$

---

[1] Vi tar det her for gitt at alle positive tall forskjellig fra 0 kan uttrykkes som et potenstall.

[2] Se potensregler i MB.

0.6 Forklaringer

0.4 Polynomdivisjon (forklaring)

Gitt polynomene

$$P_m, \text{ hvor } ax^m \text{ er leddet med høyest grad}$$

$$Q_n, \text{ hvor } bx^n \text{ er leddet med høyest grad}$$

Da kan vi skrive

$$P_m = \frac{a}{b}x^{m-n}Q_n - \frac{a}{b}x^{m-n}Q_n + P_m$$

Vi setter $U = -\frac{a}{b}x^{m-n}Q_n + P_m$, og merker oss at U nødvendigvis har grad lavere eller lik $m - 1$. Videre har vi at

$$\frac{P_m}{Q_n} = \frac{a}{b}x^{m-n} + \frac{U}{Q_n} \tag{15}$$

La oss kalle det første og det andre leddet på høgresiden i (15) for henholdsvis et "potensledd' og en "resterende brøk". Ved å følge prosedyren som ledet oss til (15), kan vi også uttrykke $\frac{U}{Q_n}$ ved et "potensledd" og et "resterende ledd". Dete "potensleddet" vil ha grad mindre eller lik $m - 1$, mens telleren i det "resterende leddet" vil ha grad mindre eller lik $m - 2$. Ved å anvende (15) kan vi stadig lage nye "potensledd" og "resterende ledd" fram til vi har et "resterende ledd" med grad $n - 1$.

0.5 Faktorisering av polynom (forklaring)

P er delelig med $x-a \Rightarrow P(a)=0$.

For et polynom S har vi av (5) at

$$\frac{P}{x-a} = S$$
$$P = (x-a)S$$

Da er åpenbart $x=a$ en løsning for likningen $P=0$.

P er delelig med $x-a \Leftarrow P(a)=0$.

Av (5) finnes et polynom S og en konstant R slik at

$$\frac{P}{x-a} = S + \frac{R}{x-a}$$
$$P = (x-a)S + R$$

Siden $P(a)=0$, er $0=R$, og da er P delelig med $x-a$.