

**BEREGNING AF FLYSTØJ MED  
PUNKTBEREGNINGSMETODEN SPM VERSION 1.2**

**RESUMÉ**

Ofte har miljømyndigheder, planlæggere, flyvepladsledelser, flyveklubber m.v. behov for at vurdere støjbelastningen eller ændringer i denne et bestemt sted i forhold til en lufthavn eller flyveplads. Dette kan gøres med en række eksisterende beregningsprogrammer, som dog kræver både en del specialkendskab og en betydelig indlærings tid. Formålet med punktbergningsmetoden er at sætte en person uden særligt kendskab til flystøjbergninger i stand til at gennemføre en bestemmelse af støjbelastningen i et enkelt punkt med rimelig god nøjagtighed.

Punktbergningsmetoden er udviklet i forbindelse med udarbejdelse af nordiske retningslinier for flystøjbergninger i Nordisk Ministerråds regi, jf. publikationen "Air Traffic Noise Calculation - Nordic Guidelines" Nord 1993:38.

Metoden kan anvendes ved:

- overvejelser om placering af støjfølsomt byggeri i et begrænset område nær en flyveplads
- miljømyndigheders klagesagsbehandling
- punktvis kontrol af større støjbergninger
- tilsynsredskab i forbindelse med miljøgodkendelser

Beregningerne kan udføres enten manuelt eller ved hjælp af beregningsprogrammet SPM (Single Point Method). I praksis er det uoverkommeligt at udføre beregningerne manuelt.

Punktbergningsmetoden er ikke egnet til beregning af støj ved militære flyvestationer, da flyvevejssystemet kan være særdeles kompliceret, og da der for hver jagertype findes et stort antal flyveprocedurer. Disse kan ikke rummes i metoden, der kun er baseret på to procedurer for hver civil

flytype: start og landing. For den civile flyvning findes der også begrænsninger for metodens anvendelse.

## FLYSTØJBeregninger

Flystøjberegninger er, sammenlignet med mange andre støjberegninger, komplicerede, da støjilden bevæger sig i tre dimensioner og ofte i et kompliceret flyvevejsmønster med varierende motorindstilling og dermed varierende støjmission. Endvidere har de mange forskellige flytyper forskellig støjudsendelse.

Beregning af støjen fra en lufthavn eller en flyveplads udføres i reglen med komplicerede beregningsprogrammer som f.eks. med det amerikanske INM-program eller det danske DANSIM-program. Med disse programmer beregnes de komplette støjkonturer fra startende og landende fly.

I nogle tilfælde har man kun brug for at kende støjen i et eller nogle få punkter. Beregningerne kan i disse tilfælde udføres langt enklere og med næsten samme nøjagtighed som ovennævnte beregningsprogrammer. På denne baggrund er punktberegningsmetoden udviklet.

Inden en nærmere omtale af punktberegningsmetoden vil det være hensigtsmæssigt at give en kort omtale af myndighedernes mindstekrav til flystøjberegninger samt krav til opstilling af beregningsforudsætninger.

Mindstekravene er opstillet i forbindelse med udarbejdelse af nordiske retningslinier for flystøjberegninger, jf. publikationen: "Air Traffic Noise Calculation - Nordic Guidelines" Nord 1993:38, og er gengivet i bilag 1 til Miljøstyrelsens vejledning om støj fra flyvepladser, nr. 5/1994. Kravene omfatter inputdataformater for de enkelte flytypers støj og præstationer, interpolationsmetoder, beregningsmetode for en enkelt flyoperation, korrektion for lateral dæmpning, korrektion for trafikens laterale spredning samt en beregningsmetode for støjbelastning fra samlet trafik.

Kravene til opstilling af beregningsforudsætninger er anført i bilaget til flystøjvejledningen. Korrekte beregningsforudsætninger er afgørende for beregningsresultatets nøjagtighed. Beregning af støjbelastningen kan således kun ske, hvis man har et detaljeret kendskab til flytrafikens omfang, fordeling på flytyper, fordeling på døgnet og ugen, flyveveje, flyveprofiler, flyveprocedurer, støjen fra de enkelte flytyper osv. Indhentning af de nødvendige oplysninger og opstilling af beregningsforudsætninger udgør normalt en væsentlig del af arbejdet ved en støjundersøgelse.

Ofte kræver opstilling af beregningsforudsætningerne en forenkling af de indsamlede oplysninger. Til enhver forenkling bør høre overvejelser om forenklingens konsekvenser for beregningsresultatet.

Beregningsforudsætningerne kan deles i fire grupper:

1. trafikale forudsætninger
2. forudsætninger vedrørende beflyvning
3. støj- og præstationsdata
4. beregningstekniske forudsætninger

Opstilling af de nævnte beregningsforudsætninger er nødvendige både for beregning af støjkonturer og for punktberegninger. Når punktberegningsmetoden ønskes anvendt, foreligger der ofte en støjrapport udarbejdet af en konsulent, hvoraf beregningsforudsætningerne fremgår.

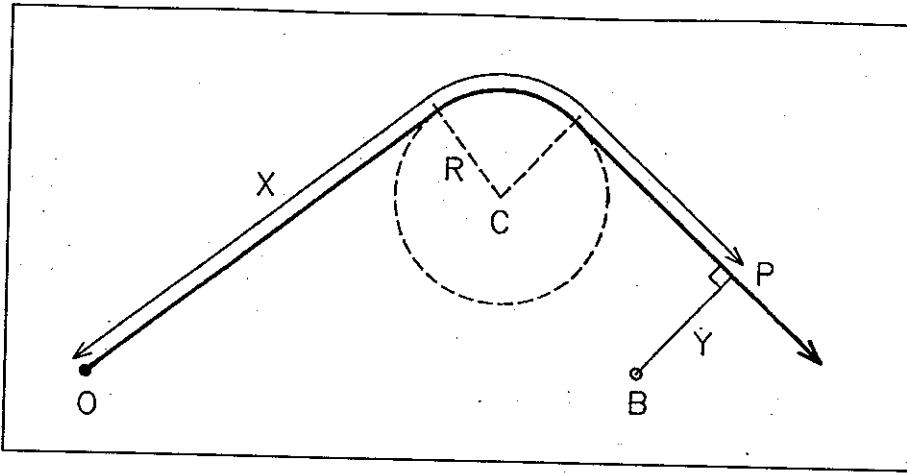
## PUNKTBEREKNINGSMETODEN

Punktberegningsmetoden er baseret på opslag i tabeller med forudberegnete støjværdier for en ret flyvevej. Tabeller er udarbejdet for start og landing med en række flytyper, og tabellerne er indeholdt i en såkaldt immissionsdatabase. Derudover indeholder metoden korrektioner for antallet af operationer, eventuel lateral spredning af trafikken omkring flyvevejen og eventuelle afvigelser fra forudsætningen om, at flyvevejen er ret.

Flystøj beregnes både efter DENL-metoden (Day-Evening-Night-Level), som er baseret på dosismål og som maksimalværdier.

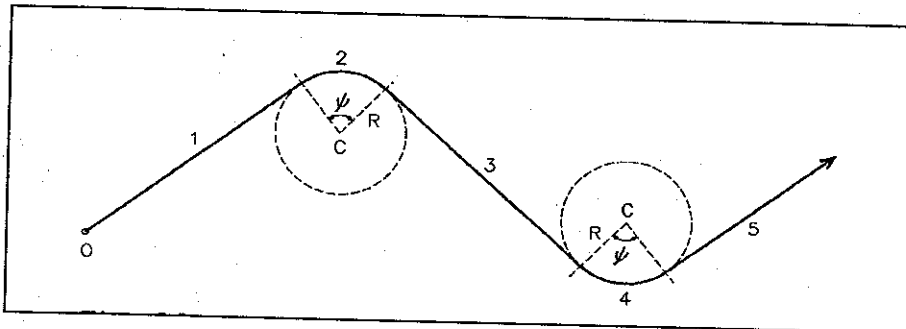
Til DENL-beregninger indeholder punktberegningsmetoden for hver enkelt flytype resultatet af en beregning af støjdosen i et beregningsnetværk fra en enkelt start eller landing langs en ret flyvevej. Beregningsresultatet er angivet i en tabel, som viser støjdosen ( $L_{AE}$ ) som funktion af afstanden langs flyvevejen til det sted, hvor afstanden mellem fly og beregningspunkt er mindst, og denne mindste afstand. Netværket er valgt passende stort til at kunne dække forekommende beregningssituationer, og maskevidden passende lille til at kunne anvende simpel lineær interpolation i tabellen.

Når støjbelastningen fra trafikken på en flyvevej skal bestemmes, findes først det punkt på flyvevejen, hvor afstanden til beregningspunktet er mindst (vinkelret på flyvevejen). Afstanden  $X$  langs flyvevejen fra start- eller landingspunktet til dette punkt samt afstanden  $Y$  fra punktet til beregningspunktet opmåles. Dette er illustreret i nedenstående figur.



Bestemmelse af beregningspunktets x- og y-værdier.

Der forudsættes ved nærværende metode, at en flyvevej består af rette og cirkulære segmenter. Dette er illustreret i nedenstående figur, hvor segmenterne 1, 3 og 5 er rette, mens 2 og 4 er cirkulære. De cirkulære segmenter defineres ved placering af centrum C, radius R og drejets vinkelstørrelse. Hvis en flyvevej ikke opfylder dette, må den tilnærmes med rette og cirkulære segmenter.



Flyvevejsbestemmelse i rette og cirkulære segmenter.

For hver flytype bestemmes støjdosen svarende til punktet X,Y ved aflæsning i den relevante tabel for en tilsvarende ligeudflyvning. Det aflæste resultat korrigeres for antallet af operationer i løbet af årets tre travleste måneder, med den pågældende flytype på flyvevejen, og for spredning af trafikken omkring den nominelle flyvevej, og for indflydelsen af et drej på støjdosen. Resultatet korrigeres endvidere for trafikens døgnfordeling og ugefordeling for flyaktiviteter med særlig genevirkning. Støjdosen summeres for alle flytyper på flyvevejen. Hvis der er flere flyveveje, der bidrager til støjbelastningen i beregningspunktet, gentages beregningen for disse og resultaterne summeres. Til sidst korrigeres resultatet til den ønskede referencetid (normalt et døgn).

Når maksimalværdien skal beregnes, findes den flytype, der kan udpeges som den mest støjende ved beregningspunktet. Grundlæggende bestemmes det maksimale A-vægtede lydtrykniveau  $L_{Amax}$  i et beregningspunkt for en given flyvevej på basis af beregningspunktets placering X, Y i forhold til den nærmeste del af flyvevejen. Den beregnede maksimalværdi anvendes uden korrektioner.

Immissionsdatabasen består af tabeller, der for:

- 3000 m < X < 25000 m med 200 m intervaller  
og 0 m < Y < 3000 m med 100 m intervaller

angiver  $L_{AE}$  og  $L_{Amax}$  for henholdsvis start og landing.

På grund af databasens omfattende tabelmateriale er det valgt kun at udgive tabellerne på diskette, da tabellerne ville fylde ca. 900 A4-sider.

PC-programmet SPM er et DOS-program, som er let at anvende, når inddata er bestemt. Ved selvstudium og med rimelige forudsætninger skulle brugen af programmet kunne læres på få dage. Spørgsmål, der ikke er for omfattende, kan besvares fra Miljøstyrelsens Klima og Transportkontor. Disketterne med programmet kan rekvireres gratis fra Klima og Transportkontoret, når der anvendes en bestillingsblanket, som findes i Nordisk Ministerråds ovennævnte publikation, jf. flystøjvejledningen, bilagsbindet side 92.

## EKSEMPEL PÅ BRUG AF PUNKTBEREKNINGSMETODEN

Punktbergningsmetoden kan bruges både til lufthavne med tung trafik og til flyvepladser, hvor der kun anvendes små fly. For store fly indeholder databasen dog kun data for korte flyvedistancer. Dersom flyvedistancen eller landingsprofilen ikke svarer til databasen, kan beregningsresultatet afvige op til  $\pm 5$  dB. Databasen forventes udvidet på et senere tidspunkt, så det skulle blive muligt at regne på alle flyvedistancer. Helikoptere og ultralette fly indgår ikke i databasen. Disse aktiviteter må vurderes separat, og støjen ( $L_h$  og  $L_u$ ) må adderes logaritmisk til punktbergningsen ( $L_p$ ). Additionsformlen er følgende:

$$L = 10\log(10^{0,1L_p} + 10^{0,1L_h} + 10^{0,1L_u})$$

Såfremt punktbergningsmetoden ønskes anvendt til beregning af støjens ækvivalentværdi fra operationer med ultralette fly (start, horisontal flyvning i højden 1000 ft. og landing) kan anvendes støjtal 68 dB, stigeprofil C og udfladningshøjde 1000 ft., hvilket giver et beregningsresultat til den sikre side. Hvis der ønskes beregnet maksimalværdi, skal der anvendes støjtal 64 dB.

Punktregningsmetoden har for nylig været anvendt af Miljøstyrelsens Klima og Transportkontor i en række klagesager vedrørende miljøgodkendelse af en flyveplads. Interesserede vil kunne få tilsendt kopier af disse beregningseksempler. I det følgende gennemgås et af eksemplerne, som omhandler miljøgodkendelse af en flyveplads til faldskærmsflyvning. Støjen i 8 punkter omkring flyvepladsen er beregnet under anvendelse af nedenstående beregningsforudsætninger.

- Banelængde = 600 m.
- Flyveveje mod øst ved brug af bane 08:
  - A Start med venstredrej på  $90^\circ$ ,  $R = 500$  m umiddelbart efter passage af baneende.
  - B Start med venstredrej på  $20^\circ$ ,  $R = 50$  m umiddelbart efter passage af baneende.
  - C Landing med venstredrej på  $90^\circ$ ,  $R = 500$  m med afslutning af drej umiddelbart før passage af baneende.
  - D Landing med venstredrej på  $90^\circ$ ,  $R = 800$  m med afslutning af drej umiddelbart før passage af baneende.
- Flyveveje mod vest ved brug af bane 26:
  - E Start med venstredrej på  $90^\circ$ ,  $R = 500$  m umiddelbart efter passage af baneende.
  - F Start med venstredrej på  $90^\circ$ ,  $R = 800$  m umiddelbart efter passage af baneende.
  - G Landing med venstredrej på  $90^\circ$ ,  $R = 500$  m med afslutning af drej umiddelbart før passage af baneende.
  - H Landing med venstredrej på  $90^\circ$ ,  $R = 1500$  m med afslutning af drej umiddelbart før passage af baneende.
- Spredning af trafikken omkring flyvevejene.
 

Da operationerne allerede er fordelt på flere flyveveje, regnes der ikke med yderligere spredning. Der er dog intet i vejen for, at dette kan gøres i alternative beregninger.
- Trafikkens fordeling på flyveveje.
  - 30% af starterne regnes ligeligt fordelt på flyvevejene A og B.
  - 30% af landingerne regnes ligeligt fordelt på flyvevejene C og D.

70% af starterne regnes ligeligt fordelt på flyvevejene E og F.

70% af landingerne regnes ligeligt fordelt på flyvevejene G og H.

- Flyenes støjtal.

Klubben anvender to fly med støjtallene 71 og 72 dB. Beregningerne gennemføres med støjtal 71,4 dB, som et vægtet gennemsnit af de to flytyper.

- Stigegradient.

Svarende til profilklasser B anvendes den nominelle stigegradient 11 %.

- Udfladningshøjde.

I den forenkede beregningsmetode for faldskærmsflyvning er der forudsat reduktion af motorydelsen i højden 500 ft. Dette sker i afstanden 2000 m fra "brake release", da rulningsstrækning ved stigeprofil B er 500 m og vandret projektion af flyvevejen op til 500 ft. er 1500 m (= 10 x 500 ft.). Reduktion af motorydelse sker altså så langt fra beregningspunkterne, at beregningsresultaterne ikke vil blive påvirket mærkbart, når der ses bort herfra, og SPM's udfladningshøjde på 1000 ft. vælges i stedet.

- Operationstal.

Der er i miljøgodkendelsen regnet med følgende operationstal:

Hverdage	07 - 19	15%
Hverdage	19 - 22	15%
Weekend	07 - 19	70%

700 løft på 3 måneder, hvoraf aftenoperationerne skal vægtes med 3,16 giver følgende ækvivalente operationstal:

$$700 \times 0,85 + 700 \times 0,15 \times 3,16 = 926,8 \text{ løft}$$

Der skal endvidere korrigeres for forskellen i støjtal mellem punktbergningsmetodens 73 dB og det aktuelle støjtal på 71,4 dB, d.v.s.

$$926,8 \times 10^{(71,4 - 73) \times 0,1} = 926,8 \times 0,6918 = 641,19, \text{ hvilket divideret med 92 dage}$$

giver 7,0 løft/dag = 14,0 operationer/dag.

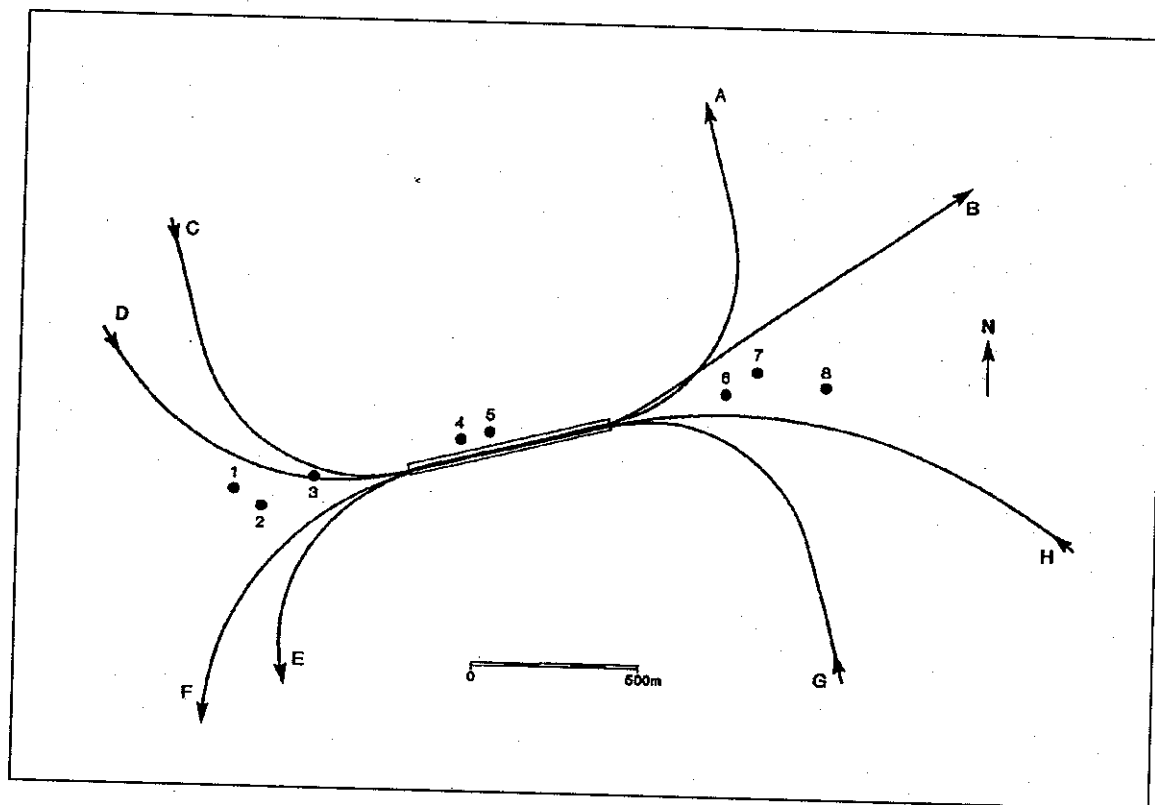
Flyvevejenes operationstal bliver følgende:

$$A - D \quad 14,0 \times 0,3 = 4,2$$

$$E - H \quad 14,0 \times 0,7 = 9,8$$

- Placering af støjfølsomme punkter.

De støjfølsomme punkter (boliger) er markeret omtrentligt på nedenstående figur.



Flyveveje og støjfølsomme punkter.



- Input data.

Input data er vist med eksempel for punkt 3 i nedenstående tabel, hvor starter skal indsættes som propelfly, støjklassse 2, stigeprofil B, 1000 ft, og landinger skal indsættes med anflyvningsvinkel 6 grader.

Flyve- vej	x	y	Track geom.	Radius i drej	Central vinkel	Punkt vinkel	Opr.tal start	Opr.tal landing
A,B	-270	40					2,10	
C	265	30	outside	500	90	30		1,05
D	275	0						1,05
E	830	115	outside	500	90	27	2,45	
F	850	95	outside	800	90	18	2,45	
G,H	-870	40						4,90

- Støjberegning.

Støjberegningerne gav følgende resultater:

Punkt	1	2	3	4	5	6	7	8
dB	42,1	45,5	49,1	53,7	53,7	45,8	43,4	39,4

En tilsvarende beregning med DELTA's beregningsprogram DANSIM gav følgende resultater:

Punkt	1	2	3	4	5	6	7	8
dB	42,2	45,3	49,4	53,9	53,7	45,6	43,5	39,3

Der skal specielt gøres opmærksom på vigtigheden af at anvende rigtige støjtal for flyene, når der foretages beregninger.

Det fremgår af flystøjvejledningens bilag, pkt. B5.3.1, at støjcertificeringsværdien for et fly er den værdi i A-vægtet lydtrykniveau, der fremkommer efter at det målte støjtal er korrigeret for flyets præstationer. Certificeringsværdien kan afvige op til 5 dB fra støjtallet.

Når støjen omkring en flyveplads skal beregnes, er det ikke certificeringsværdien, men det målte støjtal, der skal anvendes. Desværre er det certificeringsværdien, der fremgår af flyets støjcertifikat.

For en lang række propelfly er der anført støjtal i bilag 6 til flystøjvejledningen. I reglen kan man finde støjtallet for det aktuelle fly i denne database. I tilfælde, hvor flytypen ikke findes, eller hvor der er tvivl om, hvilken af flere muligheder, der skal vælges, kan det blive nødvendigt at tage udgangspunkt certificerings-værdien og gennemføre korrektioner for at bestemme det rigtige støjtal.

Når fly støjcertificeres kan målingerne foretages enten i henhold til kapitel 6 eller kapitel 10 i ICAO's Annex 16. Kapitel 10 er en ny metode, som langsomt er ved at vinde indpas. Begge metoder anvendes indtil videre.

Når kapitel 6 anvendes, måles støjtallet  $L_{Amax}$  ved maksimal startvægt for en flytype som det maksimale A-vægtede lydtrykniveau under en overflyvning af en mikrofon. Flyet skal flyve horisontalt i 300 meters højde med den maksimale motorydelse. I målerapporten fra flyets støjcertificering skal bl.a. fremgå følgende tre størrelser, som er nødvendige, hvis man skal regne tilbage til flyets støjtal:

$D_{15}$  = certificeret startlængde i meter (take off distance) ved maksimal motorydelse.  
Målelængden slutter, når flyet er 15 meter over jorden.

$R/C$  = maksimal stigeevne (rate of climb) lig vertikal hastighedskomponent.

$V_y$  = hastighed ved maksimal motorydelse lig vandret hastighedskomponent ved maksimal stigning.

Korrektionen, som er nærmere beskrevet i ICAO's Annex 16, Appendix 3, beregnes med følgende formel, hvor  $R/C$  og  $V_y$  skal være i samme enhed:

$$\Delta dB = 49,6 - 20 \log[(3.500 - D_{15}) \frac{R/C}{V_y} + 15]$$

Når der støjcertificeres efter kapitel 10, giver målemetoden automatisk en præstationskorrektion, da der flyves med maksimal stigeevne i modsætning til kapitel 6, hvor der flyves horisontalt. Når der måles er flyets højde i reglen ikke 1000 fod som ved kapitel 6 målinger, og der må omregnes til 1000 fod med  $20 \log(\text{højdeforskel}) + \text{luftkorrektion}$ .

## KONKLUSION

Punktregningsmetoden gør det i mange tilfælde muligt for personer uden særligt kendskab til flystøjregninger at foretage nøjagtige beregninger. Der kræves dog omhyggelighed og lidt øvelse. Mange af beregningsforudsætningerne vil ofte kunne hentes fra en eksisterende støjrapport.

Miljømyndigheder kan bruge metoden i forbindelse med klagesager, hvor der kan gennemføres langt bedre sagsbehandling, når støjen ved klagers bopæl kan beregnes. Miljømyndigheder kan endvidere indarbejde brug af metoden i vilkår i forbindelse med miljøgodkendelser. Flyveplader kan derefter som egenkontrol eftervise, at vilkår overholdes. Endelig kan metoden være til god hjælp, når det skal vurderes, om en flyveplads er godkendelsespligtig.

Metoden kan dog ikke anvendes i alle tilfælde og må derfor kun betragtes som et supplement til andre beregningsværktøjer.