

En sekundær kartprojeksjon i Norge?

Trond Arve Haakonsen

A secondary map projection in Norway?

KART OG PLAN, Vol. 68, pp. 88–99. P.O.B. 5003, NO-1432 Ås, ISSN 0047-3278

Since EUREF89 (European Reference Frame 1989) was introduced as a new geodetic horizontal datum in Norway, the local authorities have presented their maps in a Universal Transversal Mercator (UTM) map projection. UTM has a minimum scale factor of 0,9996, illustrating the ratio of distance computed from the UTM-coordinates to distance measured in the terrain «along the ellipsoid.» The maximum correction of a measured distance to be mapped onto the UTM projection is thus -400 parts per million (*ppm*). Architects and civil engineers tend to ignore this scale factor in the engineering phase of projects, creating problems for entrepreneurs during the construction phase. The building industry recommends a correction with absolute value less than 50 *ppm* in projects with strict tolerance limits. Mapping Authorities in our neighbour countries have set a maximum absolute value of 50 *ppm* in second order map projections. This article presents some similar second order map projections for Norway, recommended by the BA network. In anticipation of a decision from the Norwegian Mapping Authority, a proper temporary transformation method is also described for a small, delimited area.

Key words: UTM, Map projection, Helmert transformation, Conform transformation

Trond Arve Haakonsen. Dr.ing. Reinertsen Engineering AS, Leiv Eiriksson Senter, 7492 Trondheim. E-mail: trond.haakonsen@reinertsen.no. Trondheim Kommune, Kart- og oppmålingskontoret, 7004 Trondheim. Email: trond-arve.haakonsen@trondheim.kommune.no.

Innledning

Motivasjonen for denne artikkelen er:

- Oppnå bedre forståelse for byggebransjens utfordringer etter innføringen av Universal Transversal Mercator-projeksjon (UTM) som eneste offisielle kartprojeksjon i Norge.
- Publisere BA-nettverkets forslag til løsning. Dette innebærer leveranser av grunnkart til prosjekterende i tangerende sylinderprojeksjoner i stedet for UTM. BANettet [2] er byggebransjens felles arena som jobber for et bedre samspill og bedre dataflyt i bygg- og anleggsbransjen
- Beskrive en midlertidig løsning for byggeprosjekter for et «lite» område, prosjektert i UTM, men med strenge geometriske toleransekrav.

Forenklinger

Typiske målte avstander ved utstikking i byggebransjen er kortere enn $100m$. En kan derfor se bort fra effekter som, sfærisk over-skudd, krumningsradiens retning og lignende, en må ta hensyn til ved beregninger med

lange avstander på ellipsoideflaten. Ved utledning av formler for avstandskorrekasjoner erstattes deler av ellipsoideflaten i beregningsområdet med en Gaussisk kuleflate med midlere krumningsradius R_M , se Hol-sen[3]. Rekkeutviklede formler for kartprojeksjonskorreksjon er avbrutt etter førsteordensleddene Samlet utgjør effekten av forenklingene mindre enn $0,1$ *ppm* eller $0,1mm$ for en avstand på 1000 m.

Kontraktforhold i byggebransjen.

Med unntak av totalentrepriser, inngår oppdragsgivere innenfor bygg- og anleggs- (BA) bransjen separate kontrakter med (1) prosjekterende: arkitekter, konsulenter og rådgivende ingeniører og (2) entreprenører som skal utføre den fysiske delen av jobben. Et entrepriseprosjekts kartkompetanse hviler oftest på en enkelt person, den prosjektansvarlige landmåleren. Når uttrykket entreprenør nevnes i artikkelen betyr dette ofte i praksis, en enkelt landmåler.

Først inngås kontrakten med prosjekterende. Under eller etter prosjekteringen utarbeides anbudsforslag rettet mot entrepre-

nørene. Kontrakten mellom oppdragsgiver og entreprenør undertegnes som regel i en fase der prosjekteringen er godt i gang eller nærmer seg slutten. Entreprenørens mulighet for innspill til prosjekteringen er derfor ofte svært begrenset.

Landmåling i dagens BA-bransje

Rasjonell utstikking innebærer automatisk innlesing av elektroniske DAK-tegninger (Data Assistert Konstruksjon) eller koordinatfiler, produsert av ulike prosjekterende fagdisipliner, til totalstasjonens målebok. I felten kan landmåleren peke ut detaljer som skal stikkes ut på målebokas grafiske fargeskjerm. Eksakt overensstemmelse mellom tegninger (1) og fastmerker (2) er et absolutt krav. Transformasjon av selve prosjekteringsunderlaget, de elektroniske tegningene etter at prosjekteringen er ferdig, er av flere grunner, ikke ønskelig.

- I prosjekteringsfasen produseres kanskje hundrevis av elektroniske DAK-tegninger. Transformasjon av tegningene er ikke uten videre mulig med dagens DAK-programvare.
- Transformasjon av samtlige tegninger er tidkrevende og utgjør en stor feilkilde.
- Et annet spørsmål er om de prosjekterende per i dag har tilstrekkelig kompetanse.
- Ved uoverensstemmelser underveis i byggeperioden kommuniserer entrepriseprojektet og prosjekteringsdisiplinene best gjennom, et på forhånd entydig definert koordinatsystem.
- «Som-bygget» dokumentasjonen skal geometrisk vise forskjellene mellom prosjektet og innmålt som-bygget. Slik dokumentasjon må referere til originaltegnningene.

Problemstilling

Pr. 01. mars 2008 har 281 kommuner i Norge innført EUREF89 som offisielt geodetisk horisontalt datum [1]. Nyere observasjonsteknikker benyttet ved etablering av EUREF89 har gitt oss homogene grunnlagsnett, som er en forutsetning for produksjon av kart med god kvalitet. Det nye datumet ønskes derfor velkommen i byggebransjen. Kart som nå be-

nyttes for prosjekteringsformål leveres i UTM-projeksjonen. Målestokksfaktoren m , illustrerer forholdet mellom en avstand beregnet i UTM og den samme avstanden i terrenget i høyde med ellipsoiden. Faktoren varierer som en funksjon av avstanden til valgt sentralmeridian i projeksjonen, som i kartplanet representeres ved øst-koordinaten. I et punkt med øst-koordinat $E=500000$ i UTM, er målestokksfaktoren minimal, og $m=0,9996$. Dette innebærer at avstand målt i terrenget, må korrigeres med -400 ppm (parts per million) for å omregnes til en avstand i kartplanet. Spørsmålet byggebransjen stiller gjennom BA-nettverket [2] er: I hvilken projeksjon bør kartdata presenteres når de skal benyttes som underlag for prosjektering?

Erfaring med håndtering av UTM til nå.

Erfaringene til nå er at prosjekterende ignorerer forskjellen på avstand i terreng og avstand i UTM-projeksjonen. Nybyggs sanne geometri, med antatte terrengavstander konstrueres direkte over et grunnkart som leveres i UTM. Om dette skyldes manglende kunnskap eller et bevisst forsøk på å låse målestokksfaktoren til $m=1$ skal være usagt. Prosjekterendes «egendefinerte» plane projeksjon med $m=1$ over hele området vil heretter kalles for M1-projeksjonen. UTM- og M1-projeksjonene vil teoretisk, overensstemme i kun et enkelt punkt. Entreprenørens landmåler som skal utføre utstikking i byggefasen kommer først inn i prosjektet etter at det meste er prosjektet. Tegninger er ferdig produsert og byggematerialer og prefabrikkerte elementer bestilt etter prosjekterendes målsetting. Underlaget for utstikking er da:

1. Modeller og tegninger konstruert i en valgt M1-projeksjon.
2. Fastmerker gitt i UTM-projeksjonen.

For de fleste nye infrastrukturprosjekter, for eksempel veibyggingprosjekter ansees UTM-målestokksfaktoren ikke å være et problem. Det har ingen praktisk betydning om en «plassbygget» del av veien blir 100.04 m i stedet for 100.00 m. Likevel skal det sies at innføringen av EUREF89-UTM har gitt prosjektørene en del merarbeid når eldre veilin-

jemodeller må regnes om fra lokale systemer eller NGO48-GK. Fullstendige veilinjemodeller som inkluderer de ulike materiallag i veien eksisterer kun i DAK-«verden». Det har fram til nå, ikke vært mulig å eksportere disse til for eksempel SOSI-format. Transformasjoner med kommunenes DLL-er er fortsatt ikke mulig i «DAK-verden». Løsningen har vært å eksportere kun senterlinjen til SOSI, transformere denne i et kartprogram med tilhørende DLL, og deretter bygge opp geometrien på nytt i EUREF89-UTM. Transformasjonens skalering påvirker veiens geometri, slik at de forhåndsdefinerte radier og klotoider må tilpasses underveis i gjenoppbyggingen i hvert enkelt tilfelle.

Et annet utprøvd alternativ har vært å beholde den opprinnelige målestokken, eller låse denne til $m=1$ for et punkt i sentrum av veilinjemodellen med formål å beholde veiens geometri gjennom transformasjonen. For en 5 km. veiparsell gir dette en forvrengning på opp til en meter, i forskjell mellom veiens endepunkter og kartet i UTM (40 cm/km).

I de fleste veibyggingsprosjekter inngår også bygging av andre konstruksjoner som bruer, bygninger, etc. med strengere toleransekrav enn veien. I forbindelse med Bjørvika-prosjektet utførte SCAN SURVEY en innledende simulering av transformasjonen til/fra UTM og Oslo lokale system med kommunes DLL. Punkter i grid med oppløsning 10 meter ble samlet over byggeområdet på omlag en kvadratkilometer. Etter transformasjonen framkom skaleringer på opp til 8 cm/km eller 80 ppm. Sidenes retthet ble deformert med opp til ± 3 cm. Dette kan trolig forklares med at deformasjonen til/fra eldre nett forplantes gjennom transformasjonen. DLL'ene er jo nettopp utarbeidet for å ivareta dette. Konklusjonen er at transformasjon fra UTM til eldre systemer, for å omgå målestokksproblematikken er en risikabel løsning.

Utfordringene er mer spesielle ved utstikking av byggeprosjekter med strenge toleransekrav ved sammenføring av bygningsdeler. Eksempler er: prefabrikkerte bruelementer, stålhelmer som skal passeres over innstøpte boltegrupper, prefabrikkerte elementer over søyler, glass- eller platekledde fasader o.lign. I slike tilfeller kan ikke et sys-

tematisk overskudd på fire millimeter per tiende meter ignoreres.

Hvordan ser framtidens løsning ut?

Kartkompetansen i byggebransjen ligger hos landmålerne. Byggebransjen forventer at kartbransjen finner gode løsninger når EUREF89-UTM innføres. Løsninger må være praktisk gjennomførbare. I dette ligger at prosjekteringsunderlaget i form av DAK-modeller og elektroniske tegninger må kunne utnyttes fullt ut uten å endres. BA-nettverket [2], har tatt fram to løsningsforslag. Disse er:

- 1 *Transformasjon* av fastmerker fra UTM til M1 definert innenfor et «lite» område. En slik løsning vil alltid være prosjektspesifikk og vil heretter kalles for en **Midlertidig løsning**.
- 2 *Konvertering* av grunnkartet som prosjekterende bestiller og får levert fra kommunene, til en tangerende sylinderprojeksjon med forvrengning mindre enn 50 ppm. Som-bygget data leveres i den samme projeksjonen og *konverteres* tilbake til UTM av kommunen. Grunnkartet skal som tidligere *lagres* i EUREF89-UTM. Denne løsningen kalles heretter: **BA-nettverkets løsning**

Metode 1 er utprøvd for noen prosjekter. Erfaringer fra disse gjør at BA-nettverket isteden ønsker metode 2, konverteringsløsningen.

1. Midlertidig løsning, transformasjon

Plan konform Helmerttransformasjon er velkjent innenfor byggebransjen. Utgangspunktet er at prosjektert tegningsunderlag i M1-projeksjonen ikke skal endres. Fastmerkene (FM) transformeres isteden fra UTM til M1-projeksjonen. Løsningen krever at totalstasjonene som skal benyttes for utstikking har programvare der en tilsvarende M1-projeksjon kan defineres. Totalstasjonene som leveres i dag har enten dette, eller en har mulighet for manuelt, å sette ppm-verdien for korreksjoner som skal påføres til null.

Metoden kan ansees som en «skaleringprosedyre» av avstandene mellom et valgt offsetpunkt i nærhet til byggeområdet og

fastmerkene. I skaleringsfaktoren kan en også inkludere en korreksjon for arbeidsområdet høyde over ellipsoiden. «Skaleringsprosedyren» skal senere utledes og forklares som en plan konform Helmertransformasjon til et lokalt koordinatsystem med ignorerbare projeksjonskorreksjoner. Men, for at fastmerkene skal kunne benyttes i kombinasjon med et urørt tegningsunderlag i M1-projeksjonen, adderes offsetpunktets koordinatverdier igjen. Det siste kan ansees som en Helmertransformasjon nummer to, som kun innebærer en origoforflytning i planet. Etter måling og koordinatutjevning av eventuelt nye fastmerkene (FM) for byggeplasset i UTM-kartplanet blir prosedyren:

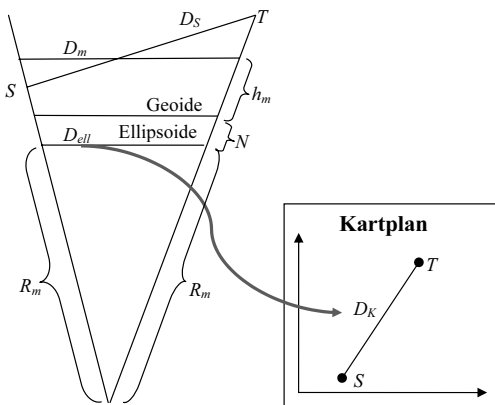
- (i) Beregne koordinatdifferanser mellom FM og et valgt offsetpunkt (C_N , C_E) i UTM.

- (ii) Beregne UTM-målestokksfaktoren m_K , for kartprojeksjonen i valgt offsetpunkt. Eventuelt inkludere en målestokksfaktor m_{ell} , for høyde over ellipsoiden.
- (iii) Skalere koordinatdifferansene med $1/m_K$ evt. $1/m_K \cdot m_{ell}$
- (iv) Addere offsetpunktets koordinater.

Kontraktmessig innebærer bruken av en slik løsning at entreprenørens landmåler tar over ansvaret for den feil som har oppstått på grunn av prosjekterendes valg av M1-system.

Howdan beregne målestokksfaktorene?

Reduksjon fra horisontal avstand D_m i middehøyde h_m , til ellipsoidisk avstand D_{ell} kan gjøres med en målestokksfaktor m_{ell} som kan utledes ved hjelp av figur 1 og definisjonene nedenfor.



- S = Stasjonspunkt
- T = Tilsiktpunkt
- h_T = høyde tilsiktpunkt
- h_S = høyde stasjonspunkt
- h_m = middehøyden $(h_T + h_S)/2$
- N = Midlere geoidhøyde
- D_S = Skrå avstand
- D_m = Horisontal avstand i middehøyden h_m
- D_{ell} = Avstand langs ellipsoiden
- D_K = Avstand i kartplan
- R_m = Midlere jordkrumningsradius

Figur 1: Utgangspunkt for utledning av målestokksforskjellen m_{ell}

Av figur 1 kan faktoren for å skalere en avstand D_m målt i middehøyden h_m til en avstand D_{ell} i høyde med ellipsoiden utledes som:

$$m_{ell} = \frac{D_{ell}}{D_m} = \frac{R_m}{(h_m + N + R_m)}$$

En tilnærmet geoidhøyde N kan hentes fra en av Statens Kartverks HREF-modeller, fi-

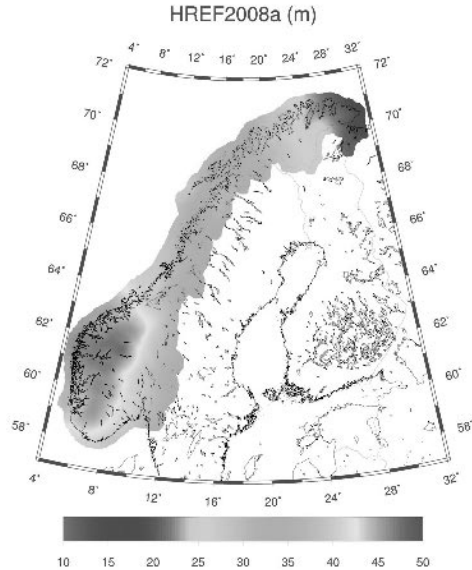
gur 3. R_m kan hentes fra tabellen i figur 2. For numerisk presisjon under 1 ppm for skaleringsfaktorene m_{ell} og m_k , eller med andre ord, presisjon bedre enn 1mm på en korrigert 1000 m avstand, er det tilstrekkelig at R_m fra figur 2 er angitt innenfor ± 1 km

De fleste byggeområdene i Norge ligger lavere enn 100 m.o.h. som tilsvarer en korreksjon på 22 ppm eller 2 mm for en 100 m avstand. I praksis kan en derfor ofte sette $m_{ell} \approx 1$

WGS84/EUREF89		NGO48/Lokale syst.	
Bredde°	Radius (m)	Bredde°	Radius(m)
58	6387505	58	6386831
60	6388829	60	6388151
62	6390102	62	6389420
Tr.h. 63	6390717	63	6390033
64	6391316	64	6390630
66	6392466	66	6391777
68	6393547	68	6392854
70	6394552	70	6393856
72	6395478	72	6394779

Figur 2: Tabell over midlere krumningsradier for ulike geodetiske bredder i Norge

Figur 3: Geoidehøyder i EUREF89 -UTM hentet fra [4]:



Gauss/Krüger-prosjeksjoner.

I Norge benyttes konforme Gauss/Krüger-prosjeksjoner (GK) til landmålingsformål. Forstavelen «kon» har opprinnelse fra latin og betyr «med-» eller «sammen-». Med konform projeksjon menes at tenkte objekter på en ellipsoideflate skal bevare formen ved en avbildning i kartprojeksjonen. Vinklene i avbildede objekter endres derfor ikke, men avstander tillates skalering. Konformiteten sikres matematisk i avbildningsligningene som kan utledes ved integrasjon av forholdet mellom, ortogonale differensielle størrelser på ellipsoiden, og i kartplanet. GK klassifiseres ikke som en geometrisk projeksjon. Dette innebærer at avbildningsligningene *ikke* kan utledes ved en ren geometrisk figurbetraktning og projiserende stråler. I matematikken benyttes uttrykket avbildning (eng: mapping) framfor projeksjon. Både Transversal Mercator (TM) som også forklares som en liggende tangerende sylinderprojeksjon og UTM er varianter av GK-projeksjonen. En UTM er lik en TM-projeksjon foruten, skalering av koordinatverdiene med 0,9996, og deretter et tillegg på 500.000 i øst for å unngå negative koordinatverdier.

Med forenklingen målte avstander er kortere enn 1km, har en generelt for GK-projeksjoner.

$$D_k = \left(D_{ell} + \frac{D_{ell} y_m^2}{2R_m^2} \right) \cdot k$$

der k er en skaleringsfaktor f.eks: TM: $k=1$ og UTM: $k=0,9996$.

$$\text{Skaleringsfaktor TM } m_K = \frac{D_K}{D_{ell}} = 1 + \frac{y_m^2}{2R_m^2}$$

y_m = Midlere y-koordinat,

Skaleringsfaktor UTM:

$$m_K = \frac{D_K}{D_{ell}} = 0,9996 \cdot \left(1 + \frac{(E_m - 500000)^2}{2R_m^2} \right)$$

E_m : Midlere østkoordinat

NGO48-GK benytter tangerende sylinderprojeksjoner av typen TM.

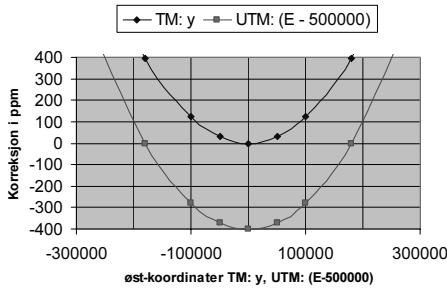
Kartprojeksjonskorreksjonen $D_K - D_{ell}$ relativt til D_{ell} blir:

$$\frac{(D_K - D_{ell})}{D_{ell}} = \frac{D_K}{D_{ell}} - 1$$

og er liten i størrelse og benevningsløs. Denne oppgis ofte i ppm. Eksempler på relative

projeksjons-korrekjoner for TM og UTM: i et område med $R_m = 6390 \text{ km}$ er beregnet og vist i figur 4.

Relativ projeksjonskorreksjon i ppm, ($R=6390\text{km}$)



Figur 4: Eksempler på relative projeksjonskorreksjoner (ppm) for TM- og UTM-projeksjoner i et område med $R_m = 6390 \text{ km}$

Plan konform Helmertransformasjon

Koordinater for et punkt P_i angis som (N_i, E_i) i UTM-projeksjonen eller som (x_i, y_i) i et valgt lokalt venstrehånds koordinatsystem. Et lokalt plant koordinatsystem kan forstås som en konform tangerende sylinderprojeksjon valgt over et mindre arbeidsområde. Dette betegnes også som et anleggsdatum, se standarden Koordinatbasert referansesystem [5]. Tangerings-meridianen i det lokale systemet går gjennom dettes origo, som bevisst ofte velges i arbeidsområdets sørvestre hjørne. Med dette oppnås at punkters (x, y) -koordinater alltid får positive, men små tallverdier, slik at en eventuell kartprojeksjonskorreksjon kan ignoreres i det lokale (x, y) -systemet. Det lokale systemets origo har koordinater (C_N, C_E) i UTM-systemet. C_N og C_E kalles også translasjons-, forskyvelses-, «shift»- eller offsetparameterene. UTM og det lokale systemet er rotert med en vinkel ψ i forhold til hverandre. Relasjonene mellom koordinater for punkter P_i i de to venstrehåndssystemene kan utledes ved hjelp av figur 5.

$$N_i = C_N + x_i \cos \psi - y_i \sin \psi$$

$$E_i = C_E + x_i \sin \psi + y_i \cos \psi$$

Om en antar en målestokksforskjell m mellom de to systemene får en:

$$N_i = C_N + m(x_i \cos \psi - y_i \sin \psi)$$

$$E_i = C_E + m(x_i \sin \psi + y_i \cos \psi)$$

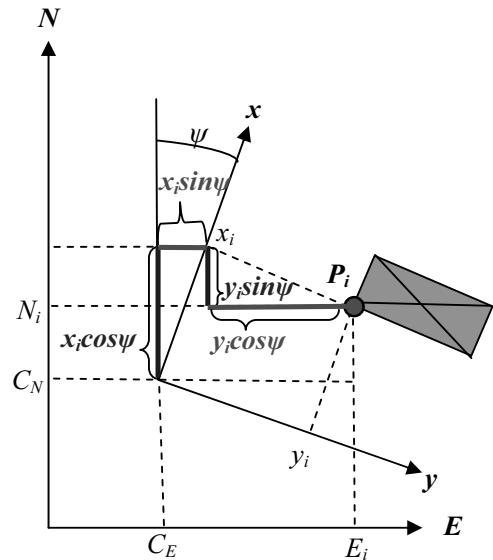
eller:

$$N_i = ax_i - by_i + C_N \quad (2.1)$$

$$E_i = ay_i + bx_i + C_E \quad (2.2)$$

der:

$$a = m \cdot \cos \psi \text{ og } b = m \cdot \sin \psi$$



Figur 5: Utledning, plan konform transformasjon

Merk forøvrig at: $m = \sqrt{a^2 + b^2}$ og

$$\tan \psi = \left(\frac{m \sin \psi}{m \cos \psi} \right) = \frac{b}{a}$$

En vanlig problemstilling er å finne de 4 transformasjonsparametrene a , b , C_N og C_E som gir mulighet til omregning til/fra 2 venstrehåndssystemer. For å få til dette kreves koordinater for minst 2 punkter, gitt i begge systemer. I BA-bransjen har landmåleren tradisjonelt valgt (1) koordinater for to punkter på et nybyggs husliv eller byggakser fra situasjonsplanen i fastmerkenes system, og (2) koordinater for tilsvarende hjørner/akser i prosjekterendes lokalt definerte DAK-system, for å beregne parametrene. Med flere enn 2 innpassningspunkter kan minste kvadraters metode benyttes for å finne transformasjonsparametrene.

Valg av parametre for å transformere fra UTM til M1

Den samme problemstillingen har en i dag. Vi søker et passende valg av a , b , C_N og C_E for å definere relasjonen mellom (1) UTM og (2) et koordinatsystem for praktisk bruk med:

- 1 Minimal kartprojeksjonskorreksjon.
 - 2 Som gir mulighet for å benytte prosjekteringsunderlaget uendret.
- Velges rotasjon lik null, får en $\tan \psi = (b/a) = 0$ som gir $b=0$.
 - Med $m = \sqrt{a^2 + b^2}$ og $b=0$ får en $a = m$

Valgene ovenfor innsatt i ligningene (2.1) og (2.2) gir transformasjonsformlene:

$$\begin{aligned} N_i &= mx_i + C_N & \text{eller} & & x_i &= (N_i - C_N)/m \\ E_i &= my_i + C_E & & & y_i &= (E_i - C_E)/m \end{aligned}$$

der $m = m_{ell}$ eller $m = m_{ell} \cdot m_K$

Transformasjonen ovenfor kan forklares som trinn (i)-(iii) i skaleringsprosedyren:

For hvert punkt P_i , med koordinater (N_i, E_i) i UTM, trekker en fra offsetkoordinatene (C_N, C_E) og skalerer differansene med $1/m$,

for å få koordinater (x_i, y_i) i et lokalt system med $m = 1$.

Det som gjenstår for å kunne benytte prosjekteringsunderlaget uendret, er punkt (iv) i prosedyren. Legge til offsets C_N og C_E igjen. Dette kan ansees som en andre Helmerttransformasjon. Denne gangen med $a=1, b=0$ i ligningene (2.1) og (2.2). Koordinater i M1-projeksjoner blir da:

$$N_{M1_i} = (N_i - C_N) / m + C_N \text{ og}$$

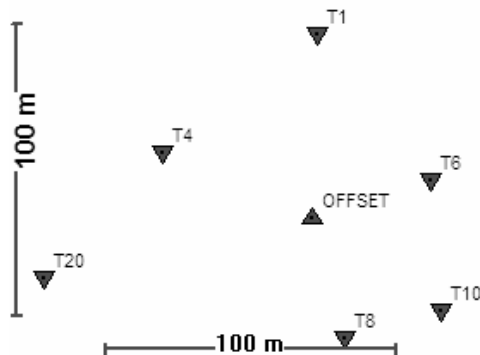
$$E_{M1_i} = (E_i - C_E) / m + C_E$$

Koordinatene ligner på EUREF89-UTM i tallverdi, men de er i M1. Denne forskjellen kan det være smart å markere i fastmerkenes punktnavn. Se påfølgende regneeksempel, figur 9.

For konforme avbildinger er målestokksfaktor lik i begge akseretninger. Det er derfor ikke nødvendig å beregne avstander mellom punkter før skalering, men i stedet skalere koordinatdifferansene i N - og E -retningen med $1/m$ hver for seg.

Denne enkle formen av plan konform Helmerttransformasjon uten rotasjon, blir uavhengig av høyre- og venstrehåndssystemer og valg av vinkelmodus: grad, deg eller rad. Den bør derfor enkelt kunne benyttes direkte i DAK-miljøene. En kan lese inn kartdata i UTM, for eksempel FM i en ny DAK-fil, og kryssreferere denne til prosjekterte tegninger. Parametere som skal angis ved kryssrefereringen blir rotasjon = 0, skaleringsfaktor $1/m$, fra offsetpunktet, med gitte koordinater.

Talleksempel:



Figur 6: Talleksempelens punkter i UTM-kartplanet

Koordinater i UTM-prosjeksjonen			
	UTM-Nord	UTM-Øst	Ort-H
T1	6635163.325	602901.772	137.151
T4	6635122.995	602848.242	142.270
T6	6635113.113	602941.055	141.518
T8	6635058.707	602911.521	135.773
T10	6635068.113	602944.655	135.914
T20	6635079.533	602807.610	146.584
		middelhøyde:	ca 140m
Offset	6635100.000	602900.000	

Figur 7: Koordinater og høyder for FM og valgt offsetpunkt i UTM. Områdets middelhøyde ca 140 m

Fra	Til	ΔX_{UTM}	ΔY_{UTM}	$\Delta X_{UTM}/(m)$	$\Delta Y_{UTM}/(m)$
Offset	T1	63.325	1.772	63.344	1.773
Offset	T4	22.995	-51.758	23.002	-51.773
Offset	T6	13.113	41.055	13.117	41.067
Offset	T8	-41.293	11.521	-41.305	11.524
Offset	T10	-31.887	44.655	-31.897	44.668
Offset	T20	-20.467	-92.390	-20.473	-92.418

Figur 8: Skaleringsprosedyre (i)–(iii)

2. BA-nettverkets løsning, konvertering

En optimal løsning for byggebransjen vil være en projeksjonskorreksjon mindre enn avstandsmålerens målenøyaktighet. Denne oppgis til: $\sigma = 1\text{-}2\text{mm} + 1\text{-}2\text{ppm}$, noe som betyr 10-20 ppm for en typisk målt 100 m avstand. 50 ppm betraktes som en øvre grense for hva byggebransjen kan leve med. De fleste deltakerne i BA-nettverket støtter en løsning som foreslår at grunnkart skal leveres til prosjekterende i tangerende sylinderprojeksjoner med maksimal projeksjonskorreksjon 50 ppm. EUREF89 vil fortsatt være gjeldende geodetiske datum. Noen av aktørene som har gitt uttrykk for at de ønsker en slik løsning er: MESTA, NCC, REINERTSEN, SCAN SURVEY, SKANSKA og VEIDEKKE. Ved bestilling av kartdata i for eksempel Infoland [6] kan TM-projeksjoner tilbys som al-

$$R_m = 6388829\text{m og } N = 39.4\text{ m gir:}$$

$$m_{ell} = R_m / (R_m + N + H_m) =$$

$$m_{ell} = 0,99997192 \text{ (tilsvarende } -28\text{ppm)}$$

$$m_K = 0,9996 \cdot \left(1 + \frac{(E_{offset} - 500000)^2}{2R_m^2} \right)$$

$$\Rightarrow m_K = 0,99972965$$

$$\Rightarrow m = m_{ell} \cdot m_K = 0,999701578$$

Koordinater i M1-projeksjonen		
	M1-Nord	M1-Øst
M1-T1	6635163.344	602901.773
M1-T4	6635123.002	602848.227
M1-T6	6635113.117	602941.067
M1-T8	6635058.695	602911.524
M1-T10	6635068.103	602944.668
M1-T20	6635079.527	602807.582

Figur 9: Koordinater i M1-projeksjonen, punktnavnprefiks M1

ternativer til UTM for prosjekterende. Kartdata i originaldataverten skal fortsatt lagres i UTM-projeksjoner. Statens kartverk bør være myndigheten som offisielt definerer soner. I Danmark og Sverige er det lagt til rette for tilsvarende løsninger med maksimal projeksjonskorreksjon på 50 ppm i deres sekundære projeksjoner.

- I Danmark kalles denne: *Kp2000 - den sekundære kortprojeksjon i Danmark* [7];
- I Sverige: *SWEREF99 + «angivelse av sentralmeridianens lengdegrad.»* [8].

Fordeler:

- Eksisterende situasjon innmålt på oppdrag fra prosjekterende i tidlig fase vil overensstemme med det som prosjekteres i modellen. I dag kommer slike innmålin-

ger i UTM, men prosjekteringen gjøres i M1.

- Målsetting og geometrikonstruksjon utført av prosjekterende blir tilnærmet lik virkeligheten i terrenget.
- Konvertering fra UTM- til tangerende sylinderprojeksjoner er entydig matematisk definert og kan implementeres i alle programvarer. Løsningen sikrer entydig omregning for alle landets byggeprosjekter. I dag benyttes prosjektspesifikke transformasjoner som vil skape stor forvirring om formlene ikke dokumenteres for ettertiden.
- De tangerende sylinderprojeksjonene kan implementeres i GNSS-programvare og forenkle bruken av GNSS til sanntids maskinstyring og landmålingsoppgaver.
- Ingen misforståelser om hvilket prosjekt fastmerkene «tilhører».
- Tidsperioden fra en entreprenør tildeles en kontrakt til bygging starter er svært kort. Firmaspesifikke lokale prosjekttilpassede transformasjoner beregnet på en kalkulator av en landmåler under tidspress gir dårlig kvalitetssikring.

Ulemper:

- En ny projeksjon med flere soner å forholde seg til.
- Implementeringsjobb i programvare, men denne må gjøres uansett valg av løsning.

Forslag til implementering

Formler for Gauss' konforme projeksjon som behøves for (1) Konvertering fra UTM til geodetisk bredde og lengde og (2) Tilbake til utvalgte tangerende sylinderprojeksjoner kan finnes i et antall bøker, for eksempel [9] eller også på Lantmäteriets hjemmeside: [10].

Noen forslag til soneinndeling vil presenteres nedenfor. Offsetverdier for å kunne skille koordinatverdiene i de tangerende sylinderprojeksjonene fra UTM bør vurderes. Kanskje kan også offsets velges slik at en umiddelbart fra koordinatverdiene kan se i hvilken sone dataene ligger, se regneeksempelet, figur 13. Nedenfor gis en kort beskrivelse av forenklet beregning av maksimal kartprojeksjonskorreksjon, som verktøy for å vurdere antall soner og sonebredde. Den ivrige leser inviteres til å bidra med forbedringer eller andre kreative forslag til en sekundær kartprojeksjon i Norge.

Beregne maksimal projeksjonskorreksjon for sonebestemmelse

La ΔL være buelengden tilsvarende en lengdeforskjell på 1° i enhet meter, R_{A90} : krumningsradius i asimutretning 90° for GRS1980-ellipsoiden (EUREF89) og y : østkoordinaten i en tangerende sylinderprojeksjon. Med forenklingen $y \approx$ buelengde langs ellipsoiden i meter er maksimal kartprojeksjonskorreksjon beregnet med formelen $y^2 / 2R_m^2$ for noen strategisk valgte geodetiske bredder i Norge. Dataene er sammenstilt i figur 10.

Geodetisk Bredde	Krumningsradius: R_{A90}	Buelengde av $\Delta L = 1^\circ$ i [m]	Maks. ppm ved sonebredder:			
			1°	2°	3°	4°
$58^\circ N$	6393546.439	59133	11	43	96	171
$60^\circ N$	6394209.174	55800	10	38	86	153
$64^\circ N$	6395453.513	48932	7	29	66	117
$66^\circ N$	6396029.004	45405	6	25	57	101
$68^\circ N$	6396569.549	41822	5	21	48	86
$69^\circ N$	6396825.879	40010	5	20	44	78

Figur 10: Beregnede maksimale kartprojeksjonskorreksjoner i ppm for noen utvalgte sonebredder.

EUREF89 sone:	Sentralmer.	Målestokk	Maks ppm	offset N	offset E
UTM32	9°	0,9996	-400	0	500000
UTM33	15°	0,9996	-400	0	500000
UTM35	27°	0,9996	-400	0	500000

Figur 11: Offisielle EUREF89-soner i Norge i dag:

Forslag

Nedenfor følger noen eksempler som er drøftet i BA-nettverket. Et ubesvarte spørsmål

er: Er det avgjørende å ta hensyn til fylkes eller kommunegrenser ved sonevalg?

sonenavn:	sentralmer.	Målestokk	Maks ppm	offset N	offset E
	5°30	1	11	B58°N: x=100000	50000
	6°30	1	11	B58°N: x=100000	50000
	:	:	:	:	:
	:	:	:	:	:
	30°30	1	5	B58°N: x=100000	50000

Figur 12: 26 soner og sonebredde 1°, Sentralmeridianer 5°30 - 30°30, Se forøvrig møtereferat fra BA-nettverket [11]. Alternativ: sonebredde 2° nord for geodetisk bredde 66°:

EUREF89 sone:	Sentralmer.	Målestokk	Maks ppm	offset N	offset E
TM6	6°	1	(B=58°) 43	0	6100000
TM8	8°	1	(B=58°) 43	0	8100000
TM10	10°	1	(B=58°) 43	0	10100000
TM12	12°	1	(B=58°) 43	0	12100000
TM14	14°	1	(B=64°) 29	0	14100000
TM16	16°	1	(B=66°) 25	0	16100000
TM18	18°	1	(B=68°) 21	0	18100000
TM20	20°	1	(B=68°) 21	0	20100000
TM22	22°	1	(B=68°) 21	0	22100000
TM24	24°	1	(B=68°) 21	0	24100000
TM26	26°	1	(B=68°) 21	0	26100000
TM28	28°	1	(B=68°) 21	0	28100000
TM30	30°	1	(B=68°) 21	0	30100000

Figur 13: Sonebredde 2°, Øst-koordinat viser i hvilken sone dataene hører hjemme. Osloområdet med størst byggeaktivitet: Asker 7ppm, Fornebu 15ppm, Lørenskog 32 ppm. Alternativer: Benytte en skalering, en type UTM med m=0,99995 som i KP2000 [7]. Tillegg offset N: -6000000

Grensesnittet DAK-landmåling.

Et av de mest brukte DAK-programmene bærer et navn som gir håp om uttallige muligheter for definisjon av projeksjoner, akse-systemer og vinkelmodus. Menyvalgene gir også inntrykk av at datumdefinisjoner finnes innebygd, eller kan defineres. Erfaringer viser er at disse valgmulighetene ikke praktiseres i Norge. I den norske «DAK-verden» benyttes plane koordinatsystemer med konstant målestokk. Ortogonale høyrehåndssystem, med vinkelavlesning fra horisontal positiv x -akse mot urviseren og vinkler i intervallet 0° - 360° . For å få et korrekt retningsorientert bilde av kartet i DAK-miljøet, leses kartdataenes nord-koordinater inn som y , og øst-koordinater som x . Innsetting av parametere i plane konforme transformasjoner til/fra både høyre- og venstrehåndssystemer, og med vinkelangivelsen i både grader og gon blir komplisert. Derfor benyttes ikke denne muligheten for å koble DAK-tegninger mot landmålerens verden per i dag. Utskriftsfunksjon til en koordinatfil som kan leses direkte inn i dagens totalstasjoner mangler. Skal en skrive ut en koordinatfil fra programmet må en selv bytte om på kolonnene og fikle med formater for at dette skal være anvendelig for landmålere. Mulighet for å legge inn DLL'er med kommune- eller fylkesformler finnes ikke. Et par nærliggende spørsmål er: Bør prosjekterende komme sammen med sine programvareleverandører og videreutvikle verktøyene de benytter? Og, kan det være de siste årenes nedprioritering av kartfag for bygningsingeniører og arkitekter vi nå ser et bilde av?

Etter en gjennomgang av hjelpefunksjoner og manualer for hvordan kartprojeksjoner skal defineres i programmet ender en til slutt opp på forklaringen «ask surveyors». Dette bør vi landmålere ta som kompliment. En ønsket kunnskapsheving i prosjekteringsmiljøene slår tilbake på oss kartfolk. Det er vi som besitter kunnskapen og må stå for opplæringen av framtidens arkitekter og bygningsingeniører. Oppfordringen går derfor til de av dere som jobber med utdanning. Signaliser overfor bygg- og arkitektmiljøene ved universiteter og høyskoler at kartprojek-

sjoner, konvertering og transformasjon må inn i læreplanen for en full utnyttelse av framtidens DAK-verktøy.

Hvordan legge til rette for morgendagens BA-landmåler?

Det er i dag stor turnover blant landmålere i byggebransjen. Jobben innebærer et stort ansvar. Krevende beregninger utføres og løsnin-gene må finnes på kort tid. Hvordan kan dette ansvaret minimeres? For de fleste drifts-landmålere som står oppe i en hektisk opp-startsfase virker transformasjonsoppgaven komplisert og for de fleste uoverkommelig. Lokale transformasjonsløsninger for ethvert nytt prosjekt innebærer en stor feilkilde.

BA-bransjen har hovedfokus på å unngå feil og stikningsfeil koster MYE penger. Med en konverteringsløsning til projeksjoner med mindre korreksjoner, slipper prosjekterende og utførende å tenke på forskjellen mellom kartplansavstander og de som måles i terrenget. Metoden blir konsistent for alle prosjekter og sannsynligheten for å gjøre feil reduseres. Konverteringsløsningen vil kunne kreve en kompetanseheving hos de som distribuerer kartdata i kommunene. Dette vil nok likevel være en raskere vei å gå, enn å vente på en tilsvarende kompetanseheving i samtlige prosjekteringsmiljøer. BA-nettverket forventer at Statens kartverk som øverste norske kartinstitusjon, med ansvar for nasjonalt geodetisk grunnlag og standardisering, reagerer som tilsvarende myndigheter i våre naboland. Definer de offisielle sonene i Norges sekundære kartprojeksjon så snart som mulig!

Referanser

- [1] Informasjonsside Statens kartverk, innføring av Euref89, 31.03.2008
<http://www.statkart.no/IPS?module=Articles;action=ArticleFolder.publicOpenFolder;ID=479>
- [2] BA-nettverkets hjemmeside, 31.03.2008,
<http://www.ba-nettverket.no/>
- [3] Geodesi 1.del. Rotasjonsellipsoide og kule. Kulens avbildning i planet av prof. Jon Hol-sen: Institutt for geodesi og fotogrammetri. NTH, Trondheim 1973

- [4] Kartverkets høydereferanseflater HREF, 31.03.2008
<http://www.geodesi.no/href/jhref-diff.html>
- [5] Standarden: Koordinatbasert referansesystem 31.03.2008, Datum, Koordinatsystem, Transformasjon, Konvertering og avbildning, Versjon 2.0 mai-2004
<http://www.statkart.no/filestore/Standardisering/KRS-utgave-2004-05-27--1.pdf>
- [6] Elektronisk markedsplass for formidling av eiendomsinformasjon, kart og plandata 06.0.2008, <http://www.infoland.no/>
- [7] Kort & Matrikelstyrelsen, den sekundære kortprojeksjon i Danmark 31.03.2008.
<http://www.kms.dk/Referencenetogopmaaling/Referencesystemer/Kp2000/>
- [8] Lantmäteriet. Införande av SWEREF 99 och RH 2000 - Infoblad 31.03.2008
http://www.lantmateriet.se/upload/filer/kartor/geodesi_gps_och_detaljmatning/Nytt_referenssystem/Infoblad/info_blad-1.pdf
- [9] GPS Theory and Practice, 4th.edition 1997, B.Hofmann-Wellenhof, H-Lichtenegger and J.Collins. ISBN 3-211-82839-7 Springer-Verlag.
- [10] Lantmäteriet. 31.03.2008 http://www.lantmateriet.se/upload/filer/kartor/geodesi_gps_och_detaljmatning/geodesi/Formelsamling/Gauss_Conformal_Projection.pdf
- [11] Forslag fra Runar Yri, Veidekke i møtereferrat fra BA-nettverksmøte 10.01.2007
<http://www.ba-nettverket.no/imagenes/euref/euref%20referat%20100107.doc>