

HANDBOK



Observera aktualitetsbeskrivningen i början av dokumentet.

Digitalisering

Grafisk utformning, Muriel Bjureberg, LMV

Bilder, Ingrid Månsson, LMV

Layout omslag, Mona Olsson och Muriel Bjureberg, LMV

Copyright©

Lantmäteriverket, Gävle 1994, 1998

Medgivande behövs för varje form av mångfaldigande.

Tryckning:

Trycksam AB, Gävle 1998

Andra utgåvan, första tryckningen

Totalt utgiven i 4000 exemplar.

Distribution och försäljning, Lantmäteriverket, Gävle

Telefon 026-63 30 00.

ISBN 91-7774-066-1



HMK-Digitalisering

Digitalisering i dess ursprungliga form där man vid ett digitaliseringsbord manuellt med en markör följer linjer eller markerar punkter torde vara en föråldrad och utgången metod att överföra analog information till digital.

Skanning och vektorisering kan däremot förekomma t.ex. då man har äldre manuskript vars information kan vara av värde att få tillgänglig i digital form. Även i delar av världen där införandet av digitala metoder fortfarande är under uppbyggnad är skanningen av befinnliga analoga förlagor en rekommenderad metod. De avsnitt i handboken som behandlar dessa moment är fortfarande värda att beakta.

Vid skanning av äldre kartor i syfte att bevaras som historiskt material är innehållet i handboken av marginellt värde.

Läsanvisningar kapitel för kapitel

1. Giltig i huvudsak.
2. Avsnitt 2.1 Manuell digitalisering kan anses överspelas. De övriga avsnitten är giltiga med de tilläggen att utvecklingen av skannrar gått vidare och nya modeller med annan teknik nu finns på marknaden. Utvecklingen av vektoriseringsprogram har däremot inte kommit så mycket längre möjligen med undantag för textigenkänning.
3. De delar som syftar på skanning är fortfarande giltiga.
4. De delar som syftar på skanning är fortfarande giltiga.

FÖRORD

Allmänt

Bakgrund

Tekniska förklaringar och anvisningar (TFA)¹ till Mätning-
kungörelsen (MK)² kom ut i mitten på 1970-talet.

Teknikutvecklingen har sedan dess gått mycket snabbt och
nya teknik- och tillämpningsområden har tillkommit. Detta
innebär att TFA till stora delar blivit föråldrad.

Lantmäteriverket har utarbetat en ersättning till TFA i form av
en dokumentserie i mät- och kartfrågor. Mätningkungörelsen
utgör den författningsmässiga grunden för dokumentserien.

Syfte

I dokumentserien beskrivs den fackmannamässiga hanteringen
av mättnings- och karttekniska frågor samt därmed samman-
hängande ADB-frågor. Dokumentserien innehåller teknik-
beskrivningar samt råd och rekommendationer beträffande pla-
nering och genomförande med mål att tillgodose nyttjarnas
funktionella och kvalitetsmässiga behov.

Tanken är att dokumenten också skall kunna ligga till grund
för organisations- och myndighetsspecifika regelverk samt för
upphandling av tjänster och produkter inom de ämnesområden
som behandlas i dokumentserien.

Dokumentseriens utformning

Dokumentserien behandlar teknikområdena geodesi, fotogram-
metri, digitalisering, databaser, kartografi och juridik.

Dokumentens benämning är "Handbok till Mätningkun-
görelsen" (HMK).

Varje teknikområde behandlas i en eller flera skrifter med
namnen HMK-Geodesi, HMK-Fotogrammetri osv.

Bransch- och sektorsinriktade dokument avses ta upp bransch-
specifika produktdefinitioner och produktkrav samt återropa
tillämpliga råd och rekommendationer i de olika teknikdoku-

¹ TFA = LMVs meddelande 1976:1

² MK = SFS 1974:339 med ändringar

menten. Bransch- och sektorsdokument utarbetas av företrädare för den sektor informationen riktar sig till. Dokumenten benämns "Handbok för bygg/anläggning" etc.

Lantmäteriverket är huvudman för handböckerna till Mätningsskugörelsen och för vissa bransch- och produktinriktade dokument.

Handböckerna till Mätningsskugörelsen har följande benämningar (dokumentens beteckning anges inom parentes):

HMK–Geodesi, Stommätning (HMK–Ge:S)

HMK–Geodesi, Detaljmätning (HMK–Ge:D)

HMK–Geodesi, Markering (HMK–Ge:M)

HMK–Geodesi, GPS (HMK–Ge:GPS)

HMK–Fotogrammetri (HMK–Fo)

HMK–Digitalisering (HMK–Di)

HMK–Databaser (HMK–Da)

HMK–Kartografi (HMK–Ka)

HMK–Juridik (HMK–Ju)

Status

I dokumentens text har

- föreskrift med direkt stöd i författning
- rekommendationer för detaljutförandet av enskilda moment markerats i avvikande manér.

Författning är den samlande benämningen på lagar, förordningar och andra föreskrifter, t.ex. myndighetsföreskrifter. Sådana är naturligtvis bindande.

Rekommendationer för detaljutförandet är inte bindande utan anger endast lämpliga förfaringsätt för att uppfylla ställda krav och användarnas behov.

Vid utformning av rekommendationerna har termen "bör" använts. Formulering med "skall", eller liknande förstärkningar, tillämpas endast i samband med föreskrifter och vid återgivande av faktiska förhållanden (tekniska eller andra) i råd och rekommendationer.

Dokumentens ursprungliga status kan förstärkas i de fall de utnyttjas för utarbetande av interna regelverk och vid hänvisning i upphandlingsavtal.

Hänvisning

Vid hänvisning till uppgift eller rekommendation i HMK används avsnittsnummer eller klartextåtergivning. Högre rubrik-nivåer innefattar lägre nivåer under samma avsnitt, men ej omvänt. Endast avsteg från denna huvudprincip behöver anges.

Fullständiga avsnittshänvisningar till huvudtext eller bilaga görs enligt följande exempel:

HMK–Da.4	(HMK–Da, avsnitt 4)
HMK–Ge:S.5.2.1	(HMK–Ge:S, underavsnitt 5.2.1)
HMK–Ge:D.A.3	(HMK–Ge:D, bilaga A, underavsnitt 3)
HMK–Fo.B	(HMK–Fo, bilaga B)

HMK-Digitalisering

Innehåll

HMK-Di behandlar digitalisering av kartor som metod för data-insamling, främst i samband med uppbyggande av databaser till geografiska informationssystem. Framställningen omfattar såväl manuell som automatisk teknik för kartdigitalisering.

Dokumentstruktur

Dokumentet inleds med en introduktion samt förklaring av vissa grundläggande begrepp. Efter detta följer en allmän beskrivning av utrustning och metoder för manuell respektive automatisk digitalisering och därtill hörande arbetsmoment. Därefter behandlas i ett särskilt avsnitt planering av ett digitaliseringsprojekt med tonvikten lagd på frågan om metodval. Dokumentet avslutas med ett avsnitt med rekommendationer för det praktiska genomförandet, innefattande preparering av underlag, digitalisering samt efterbearbetning och kontroll.

Avgränsning mot andra HMK-dokument

Dokumentet har beröringspunkter med vissa av de andra dokumenten i HMK-serien.

Avsikten med kartdigitalisering är i de flesta fall att bygga upp geografiska databaser. Beskrivningar och rekommendationer angående databaskonstruktion, objektstruktur, överföringsformat, kvalitetsmärkning m.m. behandlas i HMK-Da.

Geografiska data som erhållits genom kartdigitalisering kommer i många fall att förr eller senare blandas med data som insamlats med fotogrammetrisk eller geodetisk teknik. En viss beröring föreligger därför med de avsnitt inom HMK-Fo samt HMK-Ge:D som behandlar detaljmätning av olika typer av geografiska objekt.

Upphovsrättsliga och andra juridiska aspekter behandlas mer ingående i HMK-Ju.

Utarbetande av dokumentet

HMK-Di har utarbetats av en projektgrupp bestående av följande personer:

Håkan Ågren	LMV (delprojektledare)
Caroline Schell	LMV
Anders Ek	LMV
Patrik Ottoson	LMV

Dessutom har Lars Hansen, VBB-VIAK Kartteknik AB, medverkat.

Dokumentet har i utkastform varit föremål för remissbehandling sommaren 1993. Svaren från de olika remissinstanserna har föranlett ett antal justeringar i den slutliga texten.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	i	
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	v	
1	INTRODUKTION	3
1.1	Allmänt	3
1.2	Grundläggande termer och begrepp	4
2	UTRUSTNING OCH METODER	7
2.1	Manuell digitalisering	7
2.2	Automatisk digitalisering	9
2.3	Vektorisering och kodsättning	12
2.3.1	Manuell bildskärmsvektorisering	13
2.3.2	Halvautomatisk bildskärmsvektorisering	14
2.3.3	Automatisk vektorisering	15
2.4	Registrering av attributdata	16
2.5	Konvertering från vektor- till rasterform	17
3	PLANERING	19
3.1	Analys och kravspecifikation	19
3.2	Uppskattning av noggrannhet	21
3.3	Val av lämplig digitaliseringsmetod	23
3.3.1	Allmänt	23
3.3.2	Primärkartor	24
3.3.3	Nät- och lägeskartor för ledningar	25
3.3.4	Registerkartor	26
3.3.5	Storskaliga översiktskartor	26
3.3.6	Småskaliga kartor	26
4	GENOMFÖRANDEMOMENT	27
4.1	Preparering av dokument som skall digitaliseras	27
4.2	Kontroll och kalibrering av utrustning	27
4.3	Transformation	29

4.4	Digitalisering	31
4.5	Efterbearbetning	32
4.6	Slutkontroll av digitala data	36
	SAKREGISTER	37

1 INTRODUKTION

1.1 Allmänt

Digitalisering kan som allmänt begrepp omfatta all typ av överföring av information som föreligger i analog form till digital, datorläsbar form. I denna skrift behandlas den tillämpning som avser digitalisering av kartor, dvs. överföring av geometrisk landskapsinformation och därtill knuten information som finns redovisad i kartform. Sådan kartdigitalisering kan utföras med manuella eller med helt eller delvis automatiserade metoder.

Även andra lägesbundna data än kartografiska, t.ex. punktbeskrivningar och andra typer av analog redovisning av lägesbundna data, kan vara föremål för digitalisering. Sådan digitalisering behandlas i denna skrift endast i de delar som direkt anknyter till kartdigitalisering.

I datorstödd kartframställning och vid uppbyggande av databaser till geografiska informationssystem (GIS) används ofta digitalisering som komplement eller alternativ till nyframställning med fotogrammetriska eller geodetiska metoder. Detta förutsätter givetvis att det befintliga kartmaterialet har sådan geometrisk noggrannhet, aktualitet, fullständighet och ritkvalitet att ett acceptabelt resultat kan uppnås.

De råd och rekommendationer som här presenteras tjänar syftet att dels utgöra stöd vid planering, upphandling och utförande av ett digitaliseringsarbete, dels öka förståelsen för bakomliggande principer.

Digitalisering av den typ som behandlas i denna skrift utgör kopiering ur upphovsrättslig synvinkel. Det innebär att tillstånd erfordras för att digitalisera en karta som äger upphovsrättsligt skydd. Tillstånd lämnas av den som innehar upphovsrätten. Tillstånd för reprografisk kopiering innebär inte automatiskt tillstånd för digitalisering.

1.2 Grundläggande termer och begrepp

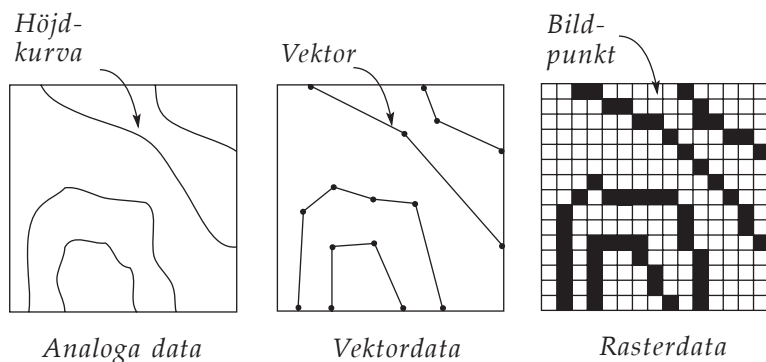
Digitalt lagrade lägesrelaterade data om landskapet brukar kallas *geografiska data*. En sammanhållen mängd av sådana data utgör en geografisk databas.

En huvudbeståndsdel i geografiska data är *geometriska data*, dvs. beskrivning av läge, storlek och form hos de företeelser i landskapet som är av intresse för den aktuella databasen. Geometriska data kan lagras digitalt antingen som *vektordata* eller som *rasterdata*.

Vektordata består av koordinatsatta punkter och sambandningar mellan dessa, organiserade så att de beskriver enskilda geometriska figurer i form av punkter, linjer eller ytor. Rasterdata å andra sidan utgör en yttäckande beskrivning av en avgränsad area genom att denna delas upp i ett regelbundet rutnät. Varje rutas läge kan anges med rad- och kolumnnummer inom rutnätet. Varje ruta tilldelas dessutom ett eller flera siffrvärden som anger någon egenskap till exempel svärtningsnivå hos just det läge som rutan representerar.

För bilder lagrade i rasterform används ofta termerna *bildpunkt*, *pixel* eller *bildelement* för de enskilda rutorna som bygger upp bilden. Rasterbildens geometriska *upplösning* anger tätheten på rutnätet och uttrycks antingen som pixelstorlek, oftast i μm , eller som antalet punkter per längdenhet, punkter/mm eller punkter/tum (engelska: dpi, dots per inch). En pixelstorlek på $50 \mu\text{m}$ är alltså detsamma som 20 punkter/mm eller ca 500 dpi.

Exempel på de olika lagringsformerna visas i figur 1.1.



Figur 1.1. Figuren visar hur en höjdkurva kan representeras och lagras digitalt i vektor- respektive rasterform.

En geografisk databas struktureras oftast i enlighet med det för människan naturliga sättet att detaljerat kunna beskriva sin omgivning, nämligen att indela denna i bestämda och urskiljbara enheter eller beståndsdelar. Huset på Villagatan 7, riksväg 80 mellan Gävle och Falun samt Storsjön kan utgöra exempel på beståndsdelar ingående i landskapet. Varje sådan företeelse i landskapet motsvaras av ett *objekt* i en geografisk databas. Objekten klassificeras begreppsmässigt i *objekttyper*, såsom exempelvis bostadshus, väg och sjö. För att fysiskt märka objekten i databasen används i regel *objekttypskoder*.

Vektordata har uppenbarligen en struktur som på ett naturligt sätt avspeglar metoden att betrakta landskapet i form av individuella objekt. I rasterdata återfinns däremot inte samma klara indelning i objekt som fallet är i vektordata. Explicit objektindelning kan visserligen konstrueras även i rasterdata men detta är inte vanligt förekommande.

Den andra huvudbeståndsdel i geografiska data, vid sidan av geometriska data, är *attributdata*. Attributdata är alla de uppgifter i form av text eller numeriska värden som, utöver geometriska data, lagras för att beskriva ett objekt och dess egenskaper. Exempelvis kan attributdata för en väg utgöras av vägbredd, typ av ytbeläggning, byggnadsår, maximalt tillåten hastighet och trafikintensitet. Skillnaderna i uppbyggnad mellan vektor- och rasterdata medför att attributdata i första hand är aktuellt i kombination med vektordata.

Kartdigitalisering innebär främst att geometriska data inhämtas från en analog karta och lagras i digital form. Metoder och utrustning som används för digitalisering av kartor kan huvudsakligen delas in i två grupper:

- *manuell digitalisering*, där koordinatregistrering och kodning görs av en operatör med hjälp av ett *digitaliseringsbord* med tillhörande *markör* (engelska: cursor). Denna metod genererar direkt kodade vektordata.
- *automatisk digitalisering*, eller *rasterscanning*, varvid en optisk avkänningsanordning registrerar svärtningsvariationerna över hela dokumentet (kartan) och levererar dessa som digitala värden i rasterform. Ur rasterdata kan sedan vektordata genereras genom s.k. *vektorisering*, vilken kan ske med mer eller mindre hög grad av automatik.

Vid beskrivning av den geometriska kvaliteten hos digitaliseringsutrustningar skiljer man mellan begreppen *upplösning*, *precision* och *noggrannhet* (engelska: resolution, precision, accuracy).

Upplösning anger det minsta steg som kan registreras.

Precision, även kallat *repetierbarhet*, anger spridningen kring medelvärde vid upprepade oberoende mätningar av en och samma punkt.

Noggrannhet slutligen anger den, över hela mätytan, genomsnittliga avvikelsen från "korrekt" värde vid mätning av ett antal kontrollpunkter vars koordinater bestämts med en metod som har betydligt högre geometrisk kvalitet än den utrustning som kontrolleras.

2 UTRUSTNING OCH METODER

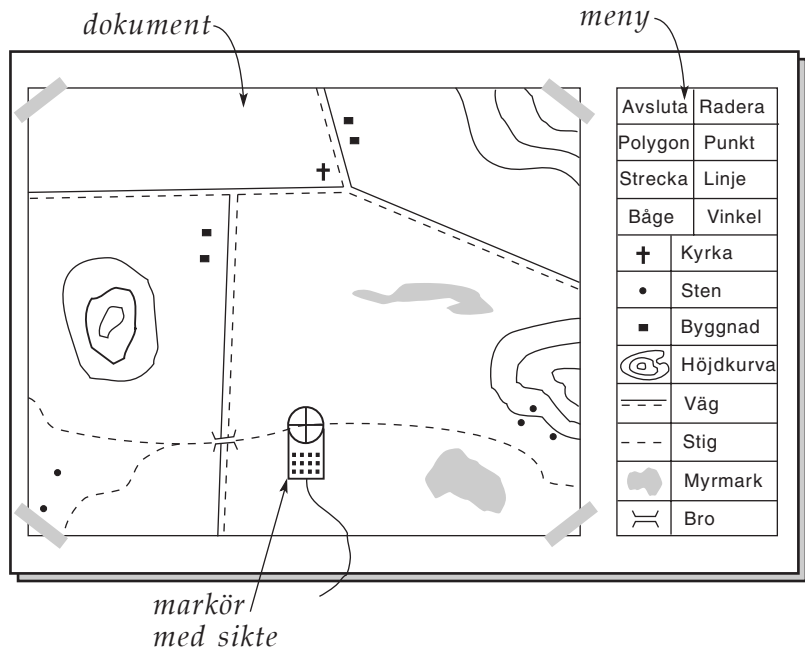
2.1 Manuell digitalisering

Manuell digitalisering av geometriska data görs vanligen med hjälp av digitaliseringsbord. Digitaliseringsbordet är en enhet för registrering av plana koordinater i ett fast, i digitaliseringsbordet inbyggt, koordinatsystem. Digitaliseringsbordet är utrustat med en avkänningsanordning som arbetar enligt endera elektronisk, elektromagnetisk eller elektromekanisk princip. Digitaliseringsbord finns i storlekar från 27 cm x 27 cm upp till drygt 1 m x 1.5 m.

Digitaliseringsbordet är ofta monterat på ett höj- och sänkbart stativ och på ett sådant sätt att bordet kan tippas och låsas i valfritt läge från horisontellt till vertikalt. För att underlätta digitalisering av transparenta underlag, finns digitaliseringsbord med underbelysning. Sådan underbelysningen får inte avge för stark värme eftersom detta kan deformera dokument.

Till digitaliseringsbordet hör en markör, se figur 2.1. På markören finns ett sikte som kan vara utformat som en kikare eller som ett hårkors ingraverat på en transparent platta. Markören är vidare försedd med ett antal knappar varav minst en utnyttjas för själva koordinatregistreringen. Mätningen kan utföras i form av punktvis registrering eller såsom automatisk registrering med visst tids- eller avståndintervall (engelska: stream mode). Övriga knappar kan användas för att ange koder eller för att på olika sätt styra digitaliseringsprocessen.

Det dokument, vanligtvis någon form av kartmaterial, som skall digitaliseras, fästs på digitaliseringsbordet. Siktet placeras över objektet som skall digitaliseras och koordinatregistreringen görs med någon av de i markören inbyggda knapparna. För att underlätta digitaliseringen placeras ofta en s.k. *meny*, även kallad *tablett*, bestående av ett antal små fält på bordet. En registrering i ett menyfält innebär t.ex. registrering av en objektкод eller att ett särskilt kommando utförs. Se figur 2.1.



Figur 2.1. Digitaliseringsbord med meny och dokument som skall digitaliseras.

Den vanligaste typen av digitaliseringsbord är de elektroniska. En mikroprocessor i digitaliseringsbordet känner av markörens läge och räknar ut koordinater i digitaliseringsbordets koordinatsystem. Digitaliseringsbordet är normalt anslutet till en dator, som tar emot och registrerar digitaliserade punkters koordinater. Koordinaterna kan därefter räknas om – transformeras – till det koordinatsystem i vilket resultatet skall redovisas.

Om digitaliseringsbordet ej innehåller en mikroprocessor fungerar värddatorn som beräkningsenhet. De elektroniska signalerna från digitaliseringsbordet räknas i värddatorn om till koordinater i digitaliseringsbordets koordinatsystem.

Till datorn hör i allmänhet en lagringsenhet och en grafisk bildskärm. Digitaliserade data kan således lagras på något data-medium och samtidigt visas på den grafiska skärmen. Detta brukar kallas *interaktiv digitalisering*. Om grafisk verifikation inte används kallas mätförfarandet *blind digitalisering*. Om en grafisk skärm används, för att successivt visa digitaliserade data, kan många fel upptäckas och korrigeras omgående.

Numera används i huvudsak persondatorer som stöd vid manuell digitalisering. De senaste årens utveckling av person-

datorernas mikroprocessorer har medfört att många avancerade programvaror för att stödja digitaliseringsprocessen har utvecklats för denna typ av datorer.

2.2 Automatisk digitalisering

Automatisk digitalisering kallas oftast för *scanning*. Vid automatisk digitalisering fångas alla data utan att någon operatör behöver ingripa i mätproceduren. Data kan efter datafångsten behandlas och bearbetas.

Den utrustning som används vid automatisk digitalisering benämns *raster-scanner*. En raster-scanner består av en optisk anordning som känner av bildpunkter i x- och y-led. Oftast kan en scanner endast registrera gråtoner, men det finns också scanners som kan registrera förlagor i färg.

Avkänningsanordningen består av en optisk-elektronisk sensor. Dokumentet som skall scannas reflekterar eller transmitterar ljuset från en ljuskälla. Ljuset fokuseras och projiceras på sensorns ljuskänsliga del med hjälp av ett linssystem.

Sensorn är i de flesta typer av utrustning omställbar så att storleken på de registrerade bildpunkterna kan regleras. Härigenom finns möjligheten att digitalisera med olika upplösning. Normalt görs automatisk digitalisering med en upplösning på mellan 25 μm och 200 μm .

Sensorn innehåller ett antal ljuskänsliga element. Varje sådant element registrerar intensiteten hos det ljus som träffar dess yta och genererar därvid en elektrisk spänning. Spänningen omvandlas till ett digitalt värde som står i direkt proportion till ljusintensiteten. Dessa värden kan sedan behandlas vidare i en mikroprocessor och slutligen lagras i lämplig form på något datamedium.

En sensor bestående av ett flertal ljuskänsliga element integrerade på en liten yta kallas för CCD (engelska: Charge-Coupled Device). En CCD-sensor är vanligtvis utformat som en kvadrat eller som en linje. De enskilda elementen är mycket små, en 10 mm \times 10 mm stor kvadrat kan innehålla upp till 250 000 avkänningspunkter. En CCD-linje kan vara uppbyggd av mer än 10 000 avkänningspunkter.

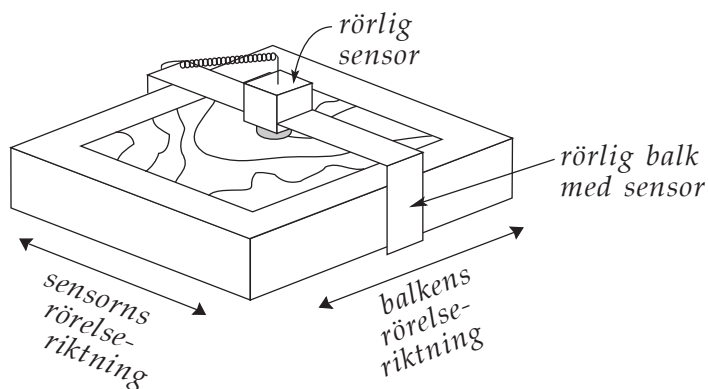
Vanligtvis representeras intensitetsnivån digitalt som ett tal mellan 0 och 255, dvs. 2^8 . Ju högre värde desto ljusare. Varje pixel kräver då ett lagringsutrymme på 8 databitar och denna typ av rasterdata brukar därför benämnas *8-bits data*. För de flesta typer

av kartoriginal räcker det med att skilja på svart eller vitt och antalet nivåer kan därför reduceras till enbart två, 0 och 1. Utrymmesbehovet minskar således till en bit per pixel och denna typ av rasterdata benämns följaktligen *1-bitsdata* eller *binära data*. Proceduren går till så att ett lämpligt gränsvärde väljs varefter alla pixelvärden under gränsvärdet byts ut mot 0 och alla över gränsvärdet byts ut mot 1. Detta brukar kallas *tröskling*.

Med hjälp av filter är det möjligt att automatiskt digitalisera dokument i färg. I huvudsak används filter med grundfärgerna blått, grönt och rött för att separera förlagans olika färger. Grundfärgsintensiteten registreras för varje pixel. Operatören kan därefter betrakta den scannade bilden på en grafisk färgskärm och själv anpassa färgskalan i skärmbilden så att den överensstämmer med originaldokumentet.

Baserat på konstruktionsprincip indelas rasterscannern i *planscannern* och *trumscannern*.

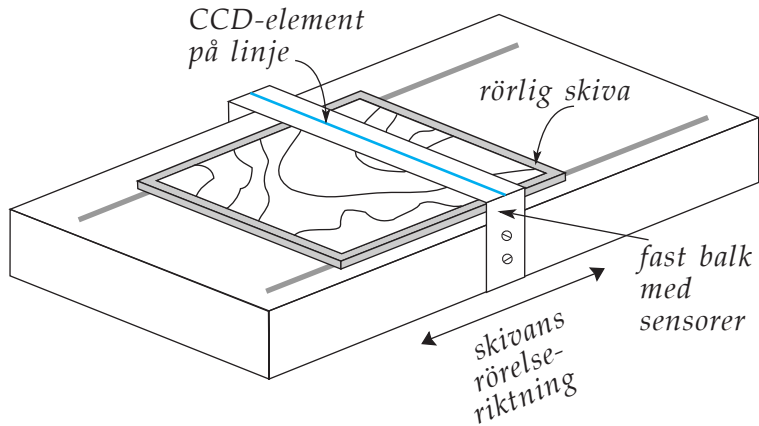
Planscannern kan indelas i två typer, med rörlig sensor och med fast sensor. Hos en planscanner med rörlig sensor är sensorn placerad på en rörlig balk. Sensorn kan röras längs balken, ortogonalt emot balkens rörelseriktning. Dokumentet som skall scannas läggs på det plana bordet. Under digitaliseringsgången ligger dokumentet stilla medan balken och sensorn rör sig på ett sådant sätt att hela dokumentets yta avkänns. Se figur 2.2.



Figur 2.2. Planscanner med rörlig sensor.

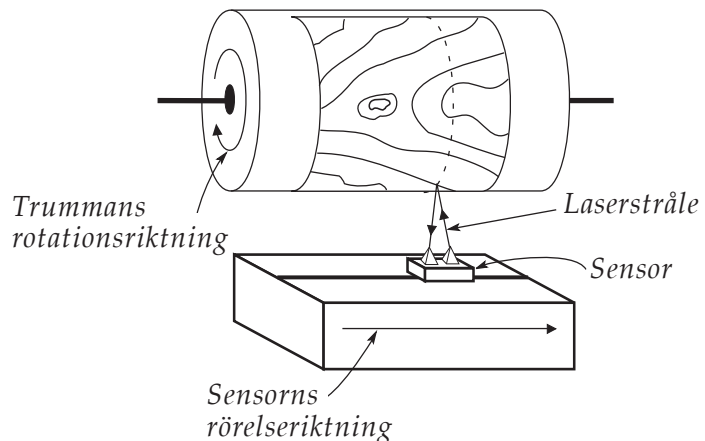
Hos en planscanner med fast sensor består avkänningsanordningen av ett antal CCD-element monterade i linje på en fast balk. Dokumentet placeras på en skiva som är rörlig i en

riktning, vinkelrätt mot avkänningslinjen. Registrering av ljuset från dokumentet sker medan den rörliga skivan skjuts in under avkänningslinjen. Se figur 2.3.



Figur 2.3. Planscanner med fast sensor.

I en trumscanner är dokumentet, som skall digitaliseras, fastsatt på en roterande trumma. Vid registreringen roterar trumman samtidigt som sensorn successivt förflyttas parallellt med rotationsaxeln. En laserstråle belyser en punkt i taget på dokumentet varvid strålen reflekteras och avkänns av en sensor. Avståndet mellan cylindern och sensorn är konstant under hela digitaliseringen. Se figur 2.4.



Figur 2.4. Trumscanner.

Den tid som åtgår för att automatiskt digitalisera exempelvis ett 50 cm x 50 cm stort kartblad kan variera mellan några minuter upp till cirka en timme beroende på vald upplösning samt typ av scanner och tillhörande datorutrustning. I allmänhet är planscanners snabbare än trumscanners, genom att de förstnämnda vanligen registrerar ett stort antal punkter samtidigt.

Rasterscanning ger upphov till stora datamängder varför det krävs kraftfulla datorer för att styra digitaliseringen och lagra registrerade data. Av denna anledning utnyttjas vanligtvis minidatorer eller kraftfulla persondatorer med stor lagringskapacitet vid scanning.

Utöver de olika scannerutrustningar som beskrivits kan även videokameror eller digitala stillbildskameror utnyttjas för digitalisering av dokument. Upplösning och geometrisk noggrannhet hos sådana kameror är inte i klass med scanners, men för vissa tillämpningar kan det vara fullt tillräckligt.

Snabb teknisk utveckling har gjort att små enkla planscanners och så kallade handscanners blivit billiga och även sådana kan vara lämpliga för vissa uppgifter. Digitalisering av t.ex. punktbeskrivningar med tillhörande kartsnitt kan vara ett användningsområde där enkla scanners eller digitala kameror kan utnyttjas. Till denna typ av utrustning kan normala persondatorer användas.

2.3 Vektorisering och kodsättning

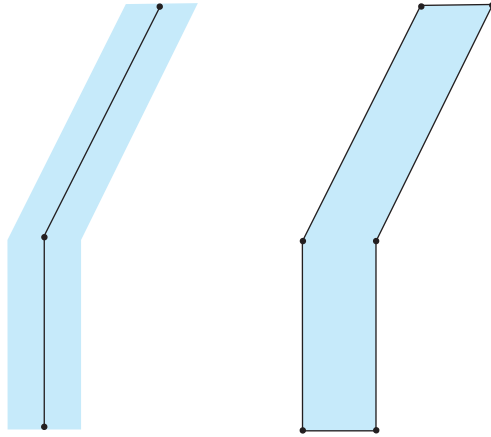
Rasterscanning är en metod för att snabbt samla in stora mängder data. Data erhålls då primärt i rasterform. I många fall är man dock intresserad av att lagra data i vektorform, varför rutiner för att konvertera data från raster- till vektorform har utarbetats. Sådan omformning brukar kallas vektorisering. Vektoriseringen innebär att rasterdata med olika metoder bearbetas så att vektor-data erhålls.

Konvertering från raster- till vektorform kan ske genom:

- manuell bildskärmsvektorisering
- halvautomatisk bildskärmsvektorisering
- automatisk vektorisering.

Samtliga metoder går ut på att på bästa sätt försöka anpassa en punkt eller linje till en svärm av pixels. Vektoriseringen kan ske efter två olika principer, centrumvektorisering eller kantvektorisering. Centrumvektorisering innebär att centrumlinjen genom

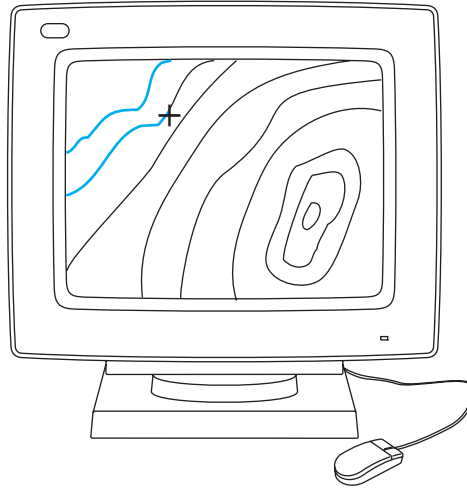
en serie "svarta" pixels söks medan kantvektorisering innebär att kantlinjen mellan "svarta" och "vita" pixels söks, se figur 2.5. Vid automatisk vektorisering kan de båda alternativen kombineras genom att ange ett gränsvärde för linjebreddden för att styra valet av vektoriseringsprincip.



Figur 2.5. Skillnaden mellan centrum- och kantvektorisering.

2.3.1 Manuell bildskärmsvektorisering

Vid manuell bildskärmsvektorisering presenteras rasterbilden på bildskärmen, varefter operatören med hjälp av en markör anpassar vektorer till rasterbilden, se figur 2.6. Med rasterbilden som bakgrund utförs registreringen på ett liknande sätt som vid bordsdigitalisering. Metoden innebär att noggrannheten hos de koordinater som registreras blir helt beroende på den precision med vilken markören kan riktas in på bildskärmen. Fördelarna med denna metod är att operatören har total kontroll över processen och själv kan välja vilka delar av rasterbilden som skall vektoriseras och samtidigt kan den grafiska verifikationen göras direkt via bildskärmen. De vektordata som skapas kan också direkt struktureras och ges objekttypskoder på ett enkelt sätt. Själva vektoriseringsprocessen är däremot ganska tidskrävande.



Figur 2.6. Bildskärmsvektorisering.

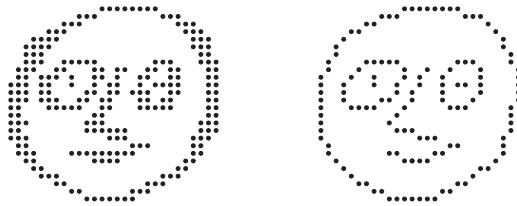
2.3.2 Halvautomatisk bildskärmsvektorisering

Halvautomatisk bildskärmsvektorisering utnyttjar, liksom manuell sådan, en rasterbild som bakgrund. Skillnaden är den att koordinatregistreringen längs linjerna sker automatiskt med hjälp av ett datorprogram. Operatören behöver endast initiera vektoriseringen av en linje genom att peka ut en startpunkt. Programmässigt följs sedan centrum av en linje eller kanten på en yta samtidigt som koordinater beräknas och registreras kontinuerligt. Vid varje förgrening stannar programmet upp och operatören måste ge order om fortsatt riktning på linjen. Denna teknik har samma fördelar som den manuella motsvarigheten och är dessutom avsevärt snabbare. En väsentlig fördel är att vektoriseringsprocessen inte ger upphov till någon försämring av noggrannheten eftersom programvaran arbetar direkt utifrån de rasterdata som erhållits från scanningen. Noggrannheten ges således helt av upplösning och geometrisk noggrannhet hos rasterdata. Det finns dock en tendens att skarpa hörn rundas av något.

2.3.3 Automatisk vektorisering

Automatisk vektorisering innebär att förloppet helt och hållet styrs programmässigt utan inblandning av någon operatör. Programmet försöker att på bästa sätt konstruera linjer genom att söka centrum i pixelstråken alternativt gränsen mellan svart och vitt.

Rasterscanning med hög upplösning medför att en linje på originalet kommer att generera en "korridor" i rasterdata med en bredd på flera pixlar. Vid automatisk centrumvektorisering ingår därför en delprocess som kallas *skelettering*, vilket innebär att överflödiga pixlar rensas bort så att alla linjer förtunnas till en bredd på endast en pixel. Skeletteringen kombineras ofta med funktioner för att rensa bort oönskade pixlar orsakade av smuts-partiklar och fläckar på dokumentet. Efter skelettering kan den egentliga vektoriseringen genomföras. I figur 2.7 visas ett exempel på skelettering.



Figur 2.7. Skelettering.

Då vektoriseringen är klar kommer vektorerna ofta att innehålla fler brytpunkter än vad som är nödvändigt vilket medför onödigt stor datamängd. För att undvika detta kan olika typer av filtrering av vektorinformationen utföras. Genom att ange vissa gränsvärden, t.ex. för maximal avvikelse från raklinje, kan antalet punkter reduceras i olika stor utsträckning. Filtrering resulterar samtidigt i en mer eller mindre märkbar generalisering av linjerna.

Automatisk vektorisering kräver nästan alltid efterbearbetning i form av interaktiv editering. Omfattningen på denna varierar beroende på kvaliteten på originaldokumentet och på hur komplicerad informationen är. Ett speciellt problem är streckade linjer, vilket är vanligt förekommande på de flesta typer av kartor. Moderna programvaror för hel- eller halvautomatisk vektorisering har därför inställbar tolerans för att, under eller efter vektoriseringen, sluta gap som understiger ett visst avstånd. Inställning av denna tolerans är givetvis en balansgång och i en del fall

kommer felaktiga sammanbindningar att uppkomma. Vid halv-automatisk vektorisering kan detta korrigeras direkt medan det vid automatisk vektorisering måste rättas till i efterhand.

En del avancerade programvaror kan fås att, genom mönsterigenkänning, särskilja olika linjetyper och symboler och där-efter automatiskt sätta objekttypskoder. Denna procedur kräver en hel del förberedelser med utprovning och inställning av en mängd parametrar specifikt avpassade för den aktuella typen av dokument. Även med en optimal parameterinställning kommer dock automatiken med största sannolikhet att misslyckas i vissa situationer. Efterarbete blir således nödvändigt även med den här typen av programvara, om än i mindre omfattning.

2.4 Registrering av attributdata

Attributdata kan insamlas genom:

- registrering via tangentbord, som ett separat moment eller i direkt anslutning till manuell digitalisering av geometriska data
- automatisk igenkänning av karttext som digitaliserats genom rasterscanning
- optisk läsning av blanketter eller andra skrivna dokument.

Om attributdata inte registreras i direkt anslutning till digitaliseringen av geometriska data måste kopplingen mellan de båda typerna av data åstadkommas på något annat sätt. Detta kan ske genom att ange en unik identitet för varje objekt vid såväl digitaliseringen av geometrin som vid registreringen av attributdata. Ett annat alternativ är att via en grafisk bildskärm peka på önskat objekt och därefter registrera de till detta objekt hörande attributdata. En begränsning med det senare alternativet är att det naturligtvis kräver att digitaliseringen av geometriska data utförs först.

Automatisk igenkänning av text från en scannad karta är en relativt avancerad procedur som, beroende på utseendet på dokumentet, kan kräva en del efterbearbetning för att ge ett korrekt resultat. Detta gäller framför allt om texterna ofta korsas av andra linjer eller om flera olika textstilar och storlekar förekommer. Vidare tillkommer problemet att knyta texten (attributet) till rätt objekt. Specialfallet att texten enbart består av siffror, exempelvis besiffring till höjdkurvor, är enklare att hantera och i sådana fall kan automatisk igenkänning ofta fungera bra.

Med relativt enkla rasterscannerns finns det idag möjlighet att scanna textdokument. Texten registreras primärt som bilddata och omvandlas därefter via mönsterigenkänning till textdata enligt någon standardiserad teckenkod, exv. ASCII-kod (engelska: American Standard Code for Information Interchange). Automatisk textdigitalisering kräver ett system för s.k. OCR-läsning (engelska: Optical Character Recognition) som kan känna igen text skriven med ett visst typsnitt.

Textscanning används främst vid registrering av stora textmängder. Texten kan utgöras av koordinatlistor, attributdata som ska knytas till digitaliserade geometriska data eller annan text som man vill överföra till digital form. fördelarna med textscanning är att det går snabbt och dessutom kraftigt reducerar risken för inmatningsfel.

2.5 Konvertering från vektor- till rasterform

Vid vissa tillfällen kan det vara av intresse att konvertera data från vektor- till rasterform. Detta kan gälla t.ex. då utmatning ska göras på en utrustning som kräver rasterdata eller för att kunna utnyttja särskild programvara för att utföra analys eller annan bearbetning av rasterdata.

Vektor- till rasterkonvertering sker helt programmässigt och resultatet kan fås i valfri upplösning. Om avsikten är att på detta sätt skapa rasterdata för permanent lagring bör dock noteras att omformning från vektor- till rasterdata normalt innebär att koordinatvärden avrundas och att en viss förlust i lägesnoggrannhet därigenom uppstår.

3 PLANERING

Detta avsnitt behandlar planering av digitaliseringsarbete, särskilt sådant som är av större omfattning. Digitalisering är resurskrävande och resultatet ska i många fall användas under lång tid, det finns därför anledning att noggrant analysera en rad frågeställningar för att därefter identifiera tänkbara handlingsalternativ. Alternativen bör sedan utvärderas tekniskt, ekonomiskt och arbetsmiljömässigt varefter lämpligt alternativ väljs.

3.1 Analys och kravspecifikation

Varje datainsamlingsarbete bör baseras på en analys av allmänna förutsättningar för arbetet samt de krav som ställs på slutresultatet. Omfattning och djup på denna behovsanalys anpassas givetvis till storleken på det planerade arbetet.

Vid planering av ett datainsamlingsprojekt bör en analys av allmänna förutsättningar och krav för arbetet utföras. Analysen bör ge svar på följande frågeställningar:

- vad ska digitala data användas till
- vilka krav på lägesnoggrannhet ställs på insamlade data
- vilka innehållsmässiga krav ställs på insamlade data
- vilka krav finns rörande hur data ska struktureras i objekt
- vilka objekttypskoder ska användas
- hur stor förväntas datamängden bli
- vad får datainsamlingen kosta och hur lång tid får arbetet ta.

Resultatet av analysen bör dokumenteras i en kravspecifikation som sedan används som underlag för utvärderingen av alternativa tillvägagångssätt. Detta gäller oavsett om datainsamlingen avses att utföras i egen regi eller med hjälp av konsult.

Utifrån kravspecifikationen övervägs olika tänkbara datainsamlingsmetoder såsom digitalisering, fotogrammetrisk eller geodetisk mätning. Alternativet digitalisering förutsätter självklart att ett befintligt kartmaterial, företrädesvis i form av originaldokument, är tillgängligt. Några indikationer på att digitalisering i sådant fall kan vara en lämplig metod är följande:

- kartinnehållet har god aktualitet
- kartan har en skala som innebär att tillräcklig lägesnoggrannhet kan uppnås
- materialet på vilket kartan är ritad är av god geometrisk kvalitet
- ritkvaliteten är god
- kartan innehåller den information som efterfrågas, så att inte komplettering med annan metod ändå är nödvändig
- kartan är upprättad i en känd projektion och ett känt koordinatsystem
- kartbladen har bra inpassningspunkter i form av hörnmarkeringar eller andra kända punkter.

Ju fler av dessa förutsättningar som föreligger desto större är förutsättningarna för att resultatet från digitaliseringen ska uppnå avsedd kvalitet och användbarhet.

Om utvärderingen utmynnar i att digitalisering bedöms som lämpligaste datainsamlingsmetod återstår fortfarande ett antal detaljfrågor att besvara innan genomförandet påbörjas. Exakt vilka dessa frågor är varierar från fall till fall men som vägledning nämns här några som i regel är aktuella:

- vilken information ska digitaliseras och från vilka dokument ska det ske
- behöver tillstånd för digitaliseringen inhämtas
- om någon form av översättning till annan projektion eller annat koordinatsystem är nödvändig, hur ska detta då ske
- vem ska utföra digitaliseringsarbetet och med vilken teknik bör det lämpligen göras.

Vid analysen och utvärderingen är det viktigt att inte bara betrakta digitaliseringsmomentet isolerat utan också klargöra hur detta sammanhänger med den nuvarande och framtida hanteringen av geografiska data i stort. Detta kan väsentligt påverka metodval och andra frågor rörande digitaliseringsarbetet. Syftet med digitaliseringen kanske enbart är att snabbt få en

heltäckande digital kartbild att använda som bakgrund för redovisning av andra data. Kraven på strukturering och kodning av objekt kan då i allmänhet sättas lågt. För sådan användning kan det, beroende på tillgång till lämpliga bildskärmar och utmatningsenheter, vara tillräckligt att använda obearbetade rasterdata eller råa vektordata från någon enkel vektorisering. Om resultatet från digitaliseringen däremot ska utgöra grunddata i ett vektorbaserat GIS ställs mycket högre krav på genomtänkt strukturering av informationen. För närmare beskrivning av metoder och tillvägagångssätt vid modellering och konstruktion av databaser hänvisas till HMK-Da, avsnitten 3 och 4.

I många fall utnyttjas digitalisering i kombination med andra datainsamlingsmetoder. Det är då viktigt att så långt möjligt samordna de olika typerna av mätning, exv. beträffande strukturering i objekt och val av objekttypskoder, så att framtida problem på grund av olikheter i datastruktur kan undvikas. En i detta sammanhang mycket viktig fråga, som bör uppmärksammas i ett tidigt skede, är också att se till att data förses med kvalitetsmärkning så att lägesnoggrannhet, aktualitet m.m. tydligt framgår.

3.2 Uppskattning av noggrannhet

Vid överväganden i samband med metodval och planering av digitalisering är det ofta av intresse att kunna uppskatta den lägesnoggrannhet som kan förväntas vid digitalisering av objekt från en karta. Huvudsakligen är noggrannheten beroende av följande faktorer:

- noggrannheten i den ursprungliga mätning som ligger till grund för kartan
- noggrannheten i överföringen av mätresultatet till kartan (karteringen)
- kartskalen
- noggrannheten i digitaliseringen.

Med utgångspunkt från dessa uppgifter kan en god uppfattning erhållas om den slutliga noggrannheten i resultatet från digitaliseringen.

Det medelfel som erhålls vid digitalisering av väl definierade mätobjekt från en karta kan uppskattas med hjälp av följande formel:

$$s_{tot}^2 = s_u^2 + \left(\frac{m_k}{1000}\right)^2 \cdot (s_k^2 + s_d^2)$$

där

s_{tot} är totala medelfelet

s_u är medelfelet i den ursprungliga inmätningen i meter på marken

s_k är medelfelet i karteringen i mm på kartan

s_d är medelfelet i digitaliseringen i mm på kartan

m_k är kartans skalfaktor.

För överslagsmässiga beräkningar kan följande schablonvärden användas för fotogrammetriskt framställd karta:

$$s_u = 0.15 \text{ ‰ av flyghöjden}$$

$$s_k = s_d = 0.15 \text{ mm på kartan.}$$

För geodetiskt underlag varierar motsvarande värden beroende på om äldre eller modernt mätinstrument respektive koordinatograf använts. Följande siffror ger en uppfattning om spännvidden:

$$s_u = 0.03 - 0.1 \text{ m på marken}$$

$$s_k = 0.15 - 0.25 \text{ mm på kartan}$$

$$s_d = 0.15 \text{ mm på kartan.}$$

3.3 Val av lämplig digitaliseringsmetod

3.3.1 Allmänt

Förutsatt att avsikten är att erhålla vektordata som slutprodukt handlar frågan om val av lämplig metod för digitaliseringen i stor utsträckning om valet mellan manuell digitalisering och raster-scanning med efterföljande vektorisering. Ett flertal faktorer av både teknisk, ekonomisk och arbetsmiljömässig natur bör vägas in i detta avgörande.

Hel- eller halvautomatiska metoder har den fördelen att de till stor del är objektiva och repeterbara. Raster-scanning kan därför förväntas ge en jämnare geometrisk noggrannhet än manuell digitalisering där resultatet i större utsträckning påverkas av operatörens skicklighet, trötthet osv. Allmänt sett är dock skillnaden i geometrisk noggrannhet mellan de bägge metoderna inte så stor att denna faktor särskilt ofta blir ensamt avgörande för valet.

Manuell digitalisering har fördelen av större flexibilitet, operatören kan hela tiden utföra urval, tolkning och andra bedömningar direkt under arbetets gång.

Arbetsmiljöfaktorn bör uppmärksammas redan under planeeringsskedet, särskilt om digitaliseringsarbetet är av större omfattning. Manuell digitalisering innebär påfrestande arbetsställningar framför allt för armar och nacke och arbetet kan vidare upplevas monotont. För att motverka problem av den här typen bör arbetsplatsen vara utformad på ett ergonomiskt riktigt sätt och så att den medger varierande arbetsställning. Dessutom bör verksamheten organiseras så att långa arbetspass vid digitaliseringsbordet undviks.

Manuell digitalisering kan tillämpas på i stort sett alla typer av dokument och kostnaden är direkt beroende av informationsmängden. För raster-scanning är bilden något mer komplicerad, kostnaden är här i mycket mindre utsträckning beroende av informationsmängden. Huvuddelen av kostnaden består istället av en fast kostnad per blad och, kanske viktigast, kostnaden för den efterbearbetning som krävs efter scanning. Följaktligen är bedömningen av behovet av efterbearbetning efter scanning ofta det som avgör valet av metod.

Av beskrivningen ovan framgår att vinsten med raster-scanning generellt sett ökar ju mer information som finns per kartblad. Materialets kondition och karaktär i andra avseenden måste dock också vägas in vid metodvalet. I följande punkter anges ett antal

faktorer som talar för att rasterscanning kan vara en lämplig metod:

- god svärtning och distinkta linjer, helst originaldokument
- lämplig uppdelning på deloriginal
- kartan är ej smutsig och fläckad av flitig användning och många ändringar
- kartan har ej alltför avancerat ritmanér med mycket streckade linjer eller andra komplicerade linjetyper och symboler
- kartan innehåller lite text.

Ju fler av dessa faktorer som uppfylls desto mindre är risken för omfattande och kostsam efterbearbetning.

Som beskrivits i avsnitt 2 finns även olika metoder för vektorisering av data erhållna från rasterscanning. Beträffande val av metod för vektorisering kan ett likartat resonemang föras. Ju högre kvalitet på originaldokumentet och ju mindre komplicerad information, desto större chans att lyckas med helautomatiska vektoriseringsmetoder.

Om rasterscanning bedöms som lämpligaste metod för digitaliseringen av ett kartverk kan det ändå, ur kostnadsynpunkt, vara fördelaktigt att välja manuell digitalisering av blad med mycket litet informationsinnehåll. Det är i så fall viktigt att tillse att inga skillnader uppkommer i datastruktur på grund av att olika metoder blandas.

En typ av material, numera visserligen sällsynt, som normalt inte går att använda som underlag för digitalisering på digitaliseringsbord är aluminiumpannåer. Däremot kan sådana direkt scannas i planscanners.

3.3.2 Primärkartor

Primärkartor är grundläggande kommunala kartverk i skala 1:400 – 1:1000 beroende på om kartan redovisar tätort eller mindre tätbebyggt område. Den är i många fall uppdelad på olika deloriginal för plandetaljer, höjdförhållanden, fastighetsindelning och bestämmelsegränser. Originalen är utförda i tusch på ritfilm eller som gravyr på gravryrfilm.

Deloriginal för plandetaljer är ofta relativt komplicerade med många olika typer av objekt och en blandning av olika linjetyper och symboler. Med original av bra kvalitet kan dock scanning i kombination med halvautomatisk vektorisering vara ett alterna-

tiv. Med avancerad programvara för automatisk vektorisering och mönsterigenkänning kan processen automatiseras ytterligare men detta medför ofta ganska omfattande efterarbete.

Separata höjdkurvoriginal är i allmänhet mycket väl lämpade för scanning och automatisk eller halvautomatisk vektorisering.

Ren digitalisering av en primärkartas fastighetsoriginal är däremot sällan aktuellt. Uppbyggnad av en digital redovisning av fastighetsindelningen bör istället baseras på alla tillgängliga geodetiskt eller fotogrammetriskt bestämda gränspunktskoordinater. Efter att dessa koordinater har identifierats och lagrats återstår att konstruera gränslinjerna genom att sammanbinda punkterna. Detta moment utförs lämpligen med hjälp av digitaliseringsbord varvid endast saknade gränspunkters koordinater bestäms genom manuell digitalisering. Om punktunderlaget är helt komplett kan naturligtvis konstruktionen av gränslinjerna även göras som en interaktiv editering direkt via bildskärm.

Separata original med bestämmelsegränser innehåller normalt mycket lite information per kartblad varför manuell digitalisering är lämpligast.

Primärkarta med plandetaljer, höjdkurvor och fastighetsindelning på ett och samma original lämpar sig bäst för manuell digitalisering eftersom komplexiteten i en sådan karta är hög.

3.3.3 Nät- och lägeskartor för ledningar

Liksom fastighetsoriginal baseras denna typ av kartor vanligtvis på geodetiskt eller fotogrammetriskt koordinatbestämda punkter, i detta fall brunnar och andra tekniska anläggningar. Koordinaterna finns ofta redan lagrade i något datorbaserat eller manuellt register. I första hand bör dessa koordinater tas tillvara och därefter konstrueras ledningsnätet genom manuell digitalisering. Till den geometriska informationen om ledningarna är det vanligt att attributdata knyts. Dessa hämtas endera från ledningskartan eller från separat fört ledningsregister.

Scanning och vektorisering av ledningskartor är följaktligen inte någon lämplig metod för att bygga upp ett ledningsinformationssystem. Informationstäta nätkartor kan dock tänkas vara aktuella att automatiskt digitalisera för att läggas upp i ett digitalt ritningsregister. Att skapa fullständigt strukturerad vektorinformation från sådana kartor är däremot mycket komplicerat.

3.3.4 Registerkartor

Registerkartan hör till det rikstäckande officiella fastighetsregistret och den redovisar aktuell fastighetsindelning samt planer, bestämmelser och rättigheter. Inom större tätorter med primärkarta utnyttjas i regel denna som grund för registerkartan varför beskrivningen rörande primärkarta, avsnitt 3.3.2, är tillämplig. Utanför de större tätorterna baseras registerkartan på ekonomiska kartan eller, vid behov av större skala, s.k. specialblad oftast i skalan 1:2000. Inom dessa områden, dvs. den ytmässigt helt dominerande delen, finns i regel inte kända gränspunktskoordinater att tillgå. Detta förhållande i kombination med karaktären på informationen i dessa kartor innebär att manuell digitalisering med stor sannolikhet är den lämpligaste tekniken.

3.3.5 Storskaliga översiktskartor

Denna typ av kartor är vanligtvis i skalområdet 1:2000 – 1:5000 och används exempelvis som underlag för redovisning av översiktliga planer. I regel lämpar sig manuell digitalisering bäst för digitalisering av storskaliga översiktskartor, särskilt då innehållet i kartan är begränsat. Om informationstätheten är hög kan det dock finnas anledning att överväga automatisk digitalisering. Vad den digitala informationen är tänkt att användas till spelar också stor roll. Exempelvis kan en kartbild av denna typ vara lämplig att använda som en översiktlig bakgrundskarta i ett GIS och för sådana ändamål kan automatisk digitalisering ofta vara en användbar metod.

3.3.6 Småskaliga kartor

Kartor i skala 1:5000 eller mindre är ofta framställda genom tryckning, normalt i flera färger. Exempel på denna typ av kartor är adresskartor och turistkartor. Underlagsmaterialet till sådana kartor utgörs av ett flertal deloriginal. Om dessa deloriginal är tillgängliga är de i många fall ett bra underlag för rasterscanning.

4 GENOMFÖRANDEMOMENT

4.1 Preparering av dokument som skall digitaliseras

Inför digitalisering av ett kartmaterial bör förlagorna granskas och vid behov förbättras med avseende på ritkvalitet och kantpassning mellan angränsande blad.

Kravet på bra ritkvalitet gäller framför allt om digitaliseringen ska ske i form av rasterscanning. Passningen mellan angränsande blad bör kontrolleras oavsett digitaliseringsmetod. För vissa typer av objekt, främst byggnader, är det oftast önskvärt att objektet lagras som en sammanhållen enhet. Ett sätt att klara detta även för objekt som befinner sig i skarven mellan två kartblad är att rita in den saknade delen av objektet i marginalen på ett av bladen. Denna teknik fungerar givetvis endast under förutsättning att digitalisering kan ske utanför den ordinarie ritytan och att inte automatisk klippning i bladkant sker. Ett annat alternativt är att i efterhand beräkningsmässigt sammankoppla delar av objekt från angränsande blad.

Vid granskningen av förlagorna kontrolleras även att tillräckligt antal, normalt minst fyra, inpassningspunkter i form av hörnmarkeringar eller andra kända punkter finns på varje blad.

Eventuella blad med flikar eller mindre utökningar utanför den normala ritytan bör identifieras och noteras inför digitaliseringen. Sådana blad kan kräva särskilda åtgärder så att även de utskjutande delarna kommer med i digitaliseringen.

4.2 Kontroll och kalibrering av utrustning

Digitaliseringsutrustning i regelbundet bruk bör kontrolleras med avseende på geometrisk noggrannhet minst en gång per år.

Innan nyanskaffad utrustning tas i bruk eller efter det att utrustning flyttats bör noggrannhets- och funktionskontroll genomföras för att verifiera att inga tillverkningsfel eller transportskador föreligger.

Vilka typer av geometriska brister som kan förekomma och vilka möjligheter som finns att justera eller kompensera för dessa är beroende av konstruktionsprincipen för aktuell utrustning.

Kontroll av digitaliseringsbord bör omfatta:

- kontroll av den allmänna noggrannheten över hela den yta som normalt används vid digitalisering
- kontroll av språngvisa koordinatförändringar utefter digitaliseringsbordets koordinataxlar
- kontroll av hårkorsets excentricitet i markören.

Kontroll av den allmänna noggrannheten kan utföras genom gittermätning av ett regelbundet rutnät med hög geometrisk noggrannhet, medelfel lägre än 0.03 mm. Rutnätet bör placeras något snett i förhållande till digitaliseringsbordets koordinataxlar för att få en jämnare spridning av mätpunkternas lägen i X- respektive Y-riktning. Som mått på den geometriska kvaliteten används det grundmedelfel som erhålls vid unitär inpassning av mätta koordinater på de givna rutnätskoordinaterna med utjämning enligt minsta kvadratmetoden.

Utrustning som används för kartdigitalisering bör ha sådan noggrannhet att grundmedelfelet från utjämning av gittermätning inte överstiger 0.1 mm.

Kontroll av språngvisa koordinatförändringar utförs enklast genom att med hjälp av en linjal digitalisera ett antal raka linjer med hög täthet och i varierande riktningar i förhållande till koordinataxlarna. Linjerna ritas därefter i lämplig ritutrustning och granskas okulärt med avseende på diskontinuiteter.

Kontroll av hårkorsets excentricitet i markören kan ske genom att utföra ett antal registreringar av en och samma punkt med 90 graders vridning av markören mellan varje registrering och därefter kontrollera om någon systematisk skillnad föreligger mellan registreringar i de fyra olika riktningarna.

Utrustningar för rasterscanning har i allmänhet kalibreringsrutiner med vars hjälp vissa systematiska fel kan kompenseras matematiskt. Sådan kalibrering bör ske regelbundet enligt tillverkarens specifikationer och dokumenteras i kalibreringsprotokoll.

4.3 Transformation

Transformation utförs dels för att korrigera för vissa systematiska fel i förlagor eller digitaliseringsutrustning och dels för att kunna räkna över registrerade maskinkoordinater till något yttre koordinatsystem, normalt det geodetiska systemet.

Transformationen kan utföras på många sätt. Vid alla transformationer måste ett antal inpassningspunkter digitaliseras. Inpassningspunkternas lägen i det önskade koordinatsystemet måste vara kända. Här följer exempel på några transformationsmetoder.

Helmerttransformation (likformig transformation i planet) innebär en transformation med två translationer, en vridning och en skalfaktor. Beräkning görs med följande formler:

$$X = x_0 + x \cdot m \cdot \cos \alpha - y \cdot m \cdot \sin \alpha$$

$$Y = y_0 + x \cdot m \cdot \sin \alpha + y \cdot m \cdot \cos \alpha$$

där

X, Y är sökta koordinater

x, y är mätta koordinater

x_0, y_0 är translationerna

α är vridningen

m är skalfaktorn.

Transformationen har fyra obekanta. Den lämpar sig inte alltid så bra för kartmaterial, eftersom hänsyn ej tas till systematiska deformationer av kartan, t.ex. olika krympning i x- och y-led. Med fyra obekanta behövs minst fyra kända storheter, dvs. två punkter i planet.

Affin transformation innebär att transformationen görs med två translationer, en vridning, två skalfaktorer och att hänsyn tas till att koordinatsystemets axlar inte är vinkelräta mot varandra. Beräkning görs med följande formler:

$$X = x_0 + x \cdot m_x \cdot \cos \alpha - y \cdot m_y \cdot \sin(\alpha + \beta)$$

$$Y = y_0 + x \cdot m_x \cdot \sin \alpha + y \cdot m_y \cdot \cos(\alpha + \beta)$$

där

X, Y är sökta koordinater

x, y är mätta koordinater

x_0, y_0 är translationerna

α är vridningen

β är snedvinkligheten

m_x, m_y är skalfaktorerna i x - respektive y -led.

Transformationen har sex obekanta. Den lämpar sig bra för kartmaterial, eftersom hänsyn tas till systematiska deformationer av kartan i form av olika krympning i x - och y -led samt bristande rätvinklighet. Med sex obekanta behövs minst sex kända storheter, dvs. tre punkter i planet.

Det finns en mängd andra transformationer med vilka man kan korrigera för ännu fler systematiska fel, men dessa kräver i gengäld fler kända punkter. Exempel på sådan transformation är polynomtransformation av högre ordning.

Transformationen vid kartdigitalisering bör utföras som sexparameters affin transformation med minst två överbestämningar, dvs. med användande av minst fyra inpassningspunkter.

Inpassningspunkterna bör omringa det aktuella digitaliseringsområdet så att extrapolation undviks.

Grundmedelfelet vid utjämning av affin transformation bör understiga 0.15 mm i kartskalen, oavsett vilket kartmaterial som digitaliserats.

Grundmedelfelet storlek beror till största delen på hur osymmetriska dimensionsfelen hos kartan är och på vald transformationsmetod. För att grundmedelfelet skall bli bra bestämt krävs minst två överbestämningar.

Möjligheten att tidigt upptäcka, lokalisera och eliminera grova fel i inpassningen ökar med antalet överbestämningar. Ett sätt att åstadkomma fler överbestämningar är att öka antalet inpassningspunkter, t.ex. till sex stycken. Ett annat alternativ är att först beräkna en Helmertransformationsresultat endast används för att kontrollera att inga grova fel föreligger. Efter denna kontroll utförs så den slutliga affina transformationen.

Att bestämma transformationsparametrarna med minimiantalet inpassningspunkter, dvs. utan överbestämningar, medför stor risk för att grova fel passerar oupptäckta.

Som resultat av transformationen skall åtminstone följande storheter redovisas:

- grundmedelfel i utjämningen
- restfel i samtliga inpassningspunkter
- utjämnade värden på skalfaktorer och snedvinklighet.

4.4 Digitalisering

Under digitaliseringsarbetet bör en fortlöpande kvalitetskontroll ske så att eventuella fel kan upptäckas och korrigeras på ett tidigt stadium. Resultatet från transformation av varje kartblad måste granskas och värderas innan digitaliseringen påbörjas. Därutöver bör rutinemässigt kontrolleras att förändringar inte sker under digitaliseringens gång.

Kraftiga variationer i temperatur och luftfuktighet under digitaliseringen påverkar dimensionen hos originalet vilket medför försämrad noggrannhet i slutresultatet. Digitaliseringen bör därför ske i lokaler där temperatur och luftfuktighet kan hållas så

konstant som möjligt. Underbelysning i digitaliseringsbord avger värme som också påverkar dimensionen hos originalet. Därför bör man tillse att originalet uppnått stabil temperatur innan digitaliseringen påbörjas.

Efter avslutad digitalisering av ett kartblad bör inpassningspunkterna mätas om för kontroll av att originalet inte har förskjutits under digitaliseringens gång. Likaså efter längre avbrott i digitaliseringen bör kontroll genom ommätning av inpassningspunkterna ske.

Vid manuell digitalisering kontrolleras fullständighet och riktighet i kodning lämpligast genom att interaktiv digitalisering, dvs. med kontinuerlig verifikation på bildskärm, tillämpas.

Vid rasterscanning kan endera påsiktsbelysning eller genomlysning av förlagan utnyttjas. Normalt lämpar sig påsikt bäst för förlagor på matt ritfilm eller papper medan genomlysning är mest lämpligt för gravyrmaterial och transparent film. I vissa fall kan dock båda metoderna behöva provas för att kunna välja lämpligaste teknik.

Vid tröskling i samband med rasterscanning är det viktigt, bl.a. för att minimera behovet av efterbearbetning, att välja ett för de aktuella dokumenten lämpligt tröskelvärde. Om tröskling sker samtidigt med digitaliseringen kan lämpligt tröskelvärde behöva utprovas genom provscanning av ett representativt blad.

4.5 Efterbearbetning

Efter interaktiv manuell digitalisering eller vid rasterscanning följd av halvautomatisk vektorisering är efterbearbetning sällan nödvändig, eftersom man under arbetet vid den grafiska bildskärmen har haft god kontroll över bearbetningen. Vid s.k. blind digitalisering är det däremot nödvändigt att i efterhand granska den insamlade informationen, t.ex. via en plotterritning, så att eventuella felaktigheter kan rättas till.

Helautomatisk digitalisering (rasterscanning och vektorisering) kräver oftast någon form av efterbearbetning. Omfattningen av arbetet är beroende av komplexiteten i förlagan, ambitionsnivå och vad informationen ska användas till. Efterarbetet kan indelas i tre olika delmoment:

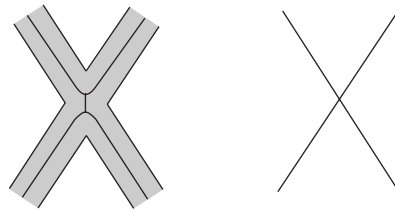
- korrigerig av geometri
- korrigerig av struktur
- objekttypskodning.

Korrigering av geometri

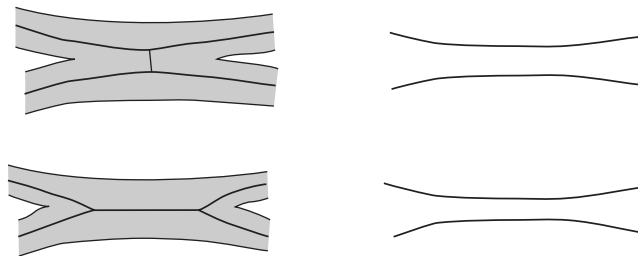
Som en följd av skeletteringen som ingår som ett led i linjevektoriseringen uppstår en del defekter i geometrin. Vissa av dessa är av mer eller mindre estetisk natur medan andra påverkar strukturen hos data och därför kan anses mer allvarliga. Problemen uppstår ofta där flera linjer kommer i kontakt med varandra t.ex. vid förgreningar, korsningar eller där parallella linjer kommer mycket nära varandra. Några vanliga exempel visas i figurerna 4.1–4.5.



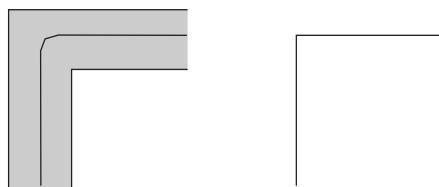
Figur 4.1. Förgrening.



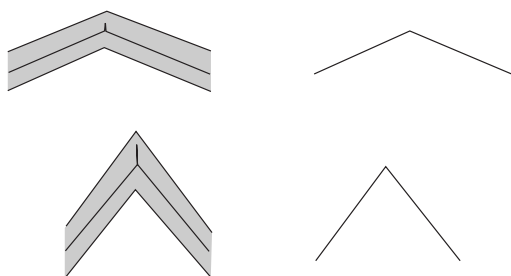
Figur 4.2. Korsning.



Figur 4.3. Parallella linjer.



Figur 4.4. Hörn.



Figur 4.5. Brytpunkter.

Övriga defekter som kan förekomma är extra linjer, glapp i linjer och andra störningar orsakade av damm, annat smuts och skador i förlagan.

De flesta av dessa defekter kan automatiskt korrigeras i många datasystem. Till de fall som inte kan korrigeras automatiskt hör t.ex. där två eller fler parallella linje gått ihop och vektoriserats som en linje (figur 4.3). I andra fall kan defekterna ha sådan utsträckning att sätta toleranser överskrids. Dessa typer av geometriska felaktigheter måste manuellt korrigeras, lämpligen genom interaktiv bearbetning vid grafisk bildskärm.

Korrigerig av objektstruktur

Punktformade objekt redovisas i regel på en karta med hjälp av olika former av symboler. Scanning och vektorisering resulterar i att symbolernas utseende kommer att lagras digitalt såsom vektordata. I de fallen ska linjerna rensas bort och ersättas av ett punktobjekt och eventuellt en riktning för dess orientering.

Linjeobjekt som på kartan redovisas med något annat ritmanér än en heldragen linje måste korrigeras att bli en sammanhängande linje. Exempel på detta är streckade, prickade, dubbeldragna linjer eller linjer med symboler som tvärstreck eller prickar. I alla dessa fall kommer linjeobjektet att vara uppdelat i ett flertal

åtskilda linjer. De separata delarna måste i sådana fall sammankopplas till lämpliga enheter, objekt, i enlighet med den datastruktur som specificerats.

Vissa programsystem kan hantera den här typen av korrekitioner med automatik. Detta kräver, för komplicerade symboler, ett omfattande förarbete att definiera symbolens utseende. Man kan ändå inte räkna med att få dessa typer av korrekitioner utförda med hundra procentig fullständighet. Det kommer oftast att förekomma områden på kartan där linje- eller punktsymbolen inte fyller de krav som satts upp vid definitionen av symbolen. Dessa kvarvarande brister i objektstrukturen måste då korrigeras interaktivt.

Objekttypskodning

Vektoriseringen av en scannad karta ger upphov till linje- och punktobjekt. Eventuellt kan någon form av attribut som linjebredd för linjeobjekt och vektoriseringsriktning för yttobjekt också vara knutet till objekten. Denna information är sällan tillräcklig för det fortsatta arbetet med den digitala informationen. En uppdelning av objekten beroende på typ är normalt ett krav för information som ska lagras i ett GIS. Detta görs genom att de enskilda objekten tilldelas en kod som beskriver objektet på något sätt och som separerar objekt med olika egenskaper från varandra. Till viss del kan även kodning göras med automatik, men samma förbehåll som vid korrektion av struktur gäller även för kodning.

I de fall korrektion inte kan göras med automatik eller där automatiken inte lyckats fullständigt krävs manuell editering av data för att färdigställa digitaliseringen. Lämpligast sker detta genom interaktiv bearbetning vid en grafisk bildskärm.

4.6 Slutkontroll av digitala data

För att kontrollera resultatet av digitalisering och efterbearbetning bör den digitala informationen ritas ut och jämföras med originaldokumentet. Kontrollen bör omfatta:

Geometrisk kvalitet

- att digitala data återger originaldokumentets information på ett lägesriktigt sätt (med hänsyn tagen till transformationen)
- att punkttätheten är väl avpassad
- att linjer i kanterna mellan angränsande blad passar.

Fullständighet

- att alla objekt som digitaliseringen avsåg finns med
- att attributdata har registrerats i avsedd omfattning
- att inga objekt digitaliserats dubbelt.

Riktighet

- att struktureringen i objekt är korrekt
- att alla objekt har korrekt kod
- att höjdvärdet är detsamma för höjdkurvor som korsar kanterna mellan angränsande blad
- att värden på eventuella attribut är riktiga.

SAKREGISTER

Specialtecken

1-bitsdata 10

8-bitsdata 9

A

Affin transformation 30

Aluminiumpannåer 24

Attributdata 5, 16

Automatisk digitalisering 9

Automatisk vektorisering 15

B

Behovsanalys 19

Bildelement 4

Bildpunkt 4

Bildskärmsvektorisering

halvautomatisk 12

manuell 12

Binära data 10

C

CCD-sensor 9

Centrumvektorisering 12

D

Deloriginal 24

Digitalisering

automatisk 5

blind 8

interaktiv 8

Digitaliseringsbord 5

E

Efterbearbetning 32

F

Filtrering 15

G

Genomlysning 32

Geografiska data 4

Geometriska data 4

H

Halvautomatisk

bildskärmvektorisering 14

Helmerttransformation 29

I

Inpassningspunkter 20, 29, 30

Interaktiv editering 15

K

Kantvektorisering 12

Kontroll och kalibrering av

utrustning 27

Korrigerig av geometri 32

Korrigerig av struktur 32

Kravspecifikation 19

L

Ledningskarta 25

M

Manuell bildskärmsvektorisering 13

Manuell digitalisering 5, 7

Markör 5, 7

Medelfel 22

Meny 7

Metodval 23

Mönsterigenkänning 16

N

Noggrannhet 5, 21

O

Objekt 5

Objektstruktur 34

Objekttyper 5

Objekttypskoder 5, 16, 35

Optisk läsning 16

P

Pixel 4

Planscanner 10

Precision 5
Preparering av dokument 27
Primärkarta 24
Påsiktsbelysning 32

R

Rasterdata 4
Rasterscanner 9
Rasterscanning 5
Registerkarta 26
Repeterbarhet 6

S

Scanner
 planscanner 10
 trumscanner 10
Scanning 9
Sensor 9
Skelettering 15
Småskalig karta 26

T

Tablett 7
Textscanning 17
Transformation 29, 30
 affin 30
 Helmert 29
Trumscanner 10
Tröskling 10

U

Underbelysning 7, 32
Upphovsrätt 3
Upplösning 4, 5

V

Vektordata 4
Vektorisering 5, 12
 automatisk 12
 centrum- 12
 kant- 12

Ö

Översiktskarta 26