

Digitala ortofoton och höjdmodeller

**Redovisning av metodik för
platsundersökningsområdena
Oskarshamn och Forsmark samt
förstudieområdet Tierp Norra**

Stig Wiklund, Metria

December 2002

Svensk Kärnbränslehantering AB

Swedish Nuclear Fuel
and Waste Management Co
Box 5864

SE-102 40 Stockholm Sweden

Tel 08-459 84 00
+46 8 459 84 00

Fax 08-661 57 19
+46 8 661 57 19



ISSN 1651-4416

SKB P-02-02

Digitala ortofoton och höjdmodeller

**Redovisning av metodik för
platsundersökningsområdena
Oskarshamn och Forsmark samt
förstudieområdet Tierp Norra**

Stig Wiklund, Metria

December 2002

Denna rapport har gjorts på uppdrag av SKB. Slutsatser och framförda åsikter i rapporten är författarens egna och behöver nödvändigtvis inte sammanfalla med SKB:s.

En pdf-version av rapporten kan laddas ner från www.skb.se

Innehåll

1	Inledning	5
2	Beskrivning av arbetssätt för framställning av ortofoton	7
2.1	Blocktriangulering	7
2.1.1	Förberedelser	7
2.1.2	Punktmätning	7
2.1.3	Blockutjämnning	7
2.1.4	Kontroll och felsökning	8
2.2	Scanning och ortofoto	8
2.2.1	Förberedelse scanning	8
2.2.2	Scanning	8
2.3	Datatyp för levererade ortofoton	9
3	Beskrivning av arbetssätt för framställning av höjdmodeller	11
3.1	Inledning	11
3.2	Underlagsmaterial	11
3.3	Förberedande arbeten	12
3.4	Framställning av höjdmodell	12
3.5	Noggrannhet	13
4	Kvalitet	15
	Bilaga 1	17
	Bilaga 2	25

1 Inledning

Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) utför platsundersökningar i delar av Östhammars och Oskarshamns kommuner. Som en del av undersökningsprogrammet ingår flygfotografering. Flygfotograferingar har utförts 2001 vid tre områden, Forsmark i Östhammars kommun, Tierp norra i Tierps och Älvkarleby kommuner samt Simpevarp i Oskarshamns kommun. Fotograferingarna syftade till att utgöra underlag för högupplösta ortofoton samt höjdmodeller.

Flygbilder och höjddata levererades till SKB år 2002 och finns lagrade i SKB:s databas enligt nedan.

Forsmark	
Ortofoto	G:\SKB\GIS\DATAARKIV
Höjdmodell, SDE-skikt	SDEADM.MET_FM_HOJ_1301

Simpevarp	
Ortofoto	G:\SKB\GIS\DATAARKIV
Höjdmodell, SDE-skikt	SDEADM.MET_OH_HOJ_1302

Tierp Norra	
Ortofoto	G:\SKB\GIS\DATAARKIV
Höjdmodell, SDE-skikt	–



Figur 1-1. Områden i Forsmark, Oskarshamn och Tierp som flygfotograferats.

Som grund för utförda arbeten ligger flygfotografering över nämnda områden i IR-färg och från 2 300 meters flyghöjd år 2001. För komplettering i randområdena av höjdmodellerna har flygfotografering i svart-vitt från 4 600 meter använts. Flygår för dessa fotograferingar var 1996 för Oskarshamn, 1992 för Forsmark och 1997 för Tierp.

2 Beskrivning av arbetssätt för framställning av ortofoton

2.1 Blocktriangulering

2.1.1 Förberedelser

Bildmaterial, översikter, GPS-data, koordinatfiler med stödpunkter har inventerats och granskats.

2.1.2 Punktmätning

Mätningen har utförts i analytiskt stereoinstrument av typen Zeiss Planicomp P2. Inre orienteringen för bilderna återställdes genom inmätning av kalibrerad kamerakonstant samt mätning av samtliga rammärken med efterföljande affin inpassning mot givna rammärkeskoordinater hämtade från aktuellt kamerakalibreringsprotokoll. Restfelen efter inpassning granskades och vid stora motsättningar genomfördes ommätning.

Relativ orientering av stereomodellen har utförts genom parallaxmätning på tolv punkter, fördelade på sex punktpar lokaliserade i von Gruberpositionerna i stereomodellen, med efterföljande utjämningsberäkning enligt minsta kvadratmetoden. Restfel efter utjämnningen granskades och vid stora motsättningar genomfördes ommätning.

Stereoskopisk punktmätning i modellen har skett med programmet MECO som ingår i programsystemet PHOCUS från Zeiss. I samband med mätningen korrigeras bildkoordinaterna för kamerans radiella felteckning och eventuellt huvudpunktsfel enligt värden hämtade från aktuellt kamerakalibreringsprotokoll.

2.1.3 Blockutjämnning

Strålkärveutjämnning har skett med programmet PATB-RS GPS från Inpho GmbH.

2.1.4 Kontroll och felsökning

För kontroll av samtliga observationer och felsökning genomfördes preliminär utjämnning. Vid denna utjämnning gavs samtliga observationer, inklusive de geodetiska stödpunkterna, a priori-vikter med hänsyn till deras förväntade noggrannhet. Restfelen efter utjämnning i mätta bildkoordinater, geodetiska stödpunkter och GPS-bestämda positioner för kamerans yttre projektionscentrum granskades och vid stora motsättningar utreddes orsaken och korrigering utfördes. När beräkningsresultatet uppvisade förhållandena normala restfel i de olika observationerna genomfördes slutlig utjämnning. Vid den slutliga utjämnningen baserades viktningen på att de geodetiska plan- och höjdstödpunkterna var felfria.

2.2 Scanning och ortofoto

Ett ortofoto är ett flygfoto som gjorts om från flygbildens centralprojektion till en ortogonalprojektion. Vid omräkningen korrigeras för variationer i flygbildens skala förorsakade av terrängens höjdskillnader och kamerans lutning vid fotograferingstillfället. Ortofotot baserades på nytagna (år 2001) flygbilder med mycket hög upplösning. Flygbilderna scannas och de digitala bilderna räknas om till bilder med enhetlig skala, så kallade digitala ortofoton. Resultatet blir en bild, ett ortofoto, med enhetlig skala inpassad i ett bestämt koordinatsystem. Flygbilderna har orienterats och kopplats till valt koordinatsystem med hjälp av fotogrammetriska metoder, så kallad blocktriangulering.

Hela produktionen av ortofotot, från flygfotografering till färdig digital produkt har genomförts av Metrias (tillhör Lantmäteriet) bildenhet.

2.2.1 Förberedelse scanning

Inmatning av kameradata från kalibreringscertifikatet i datorn. Kontroll av stråkplan vad gäller avbrott i stråk och kamerabyte samt att alla bilder finns med.

2.2.2 Scanning

Diapositiven har scannats i en scanner avsedd för tillämpningar som ställer mycket höga krav på geometrisk noggrannhet och radiometri.

Rengöring och elektrostatisk behandling mot damm av varje bild. Val av pixelstorlek och scanner area. Inre orientering på 8 rammärken med affin transformation. Inställning av gråtoner, ljusa respektive mörka partier samt sträcka ut bilden 0–256. Scanning av diapositiv i scanner DSW 200 Leica Helava, med en upplösning av 12,5 micron.

2.3 Datatyp för levererade ortofoton

Filformat: Tiff

Pixelstorlek 2 300 m: 0,2 m

Bladformat: 500x500 m

Filbeteckning: Enligt Lantmäteriets Handbok för mätningsskuggörelsen, HMK.

För bildernas geografiska utbredning, se figur 1.1 samt bilaga 1.

3 Beskrivning av arbetssätt för framställning av höjdmodeller

3.1 Inledning

Höjdmodellerna är framställda på uppdrag av Svensk Kärnbränslehantering AB i syfte att användas som ett underlag i arbetet med de platsundersökningar som ska utföras inför ett etablerande av anläggningar för djupförvar av använt kärnbränsle.

Höjdmodellerna är framställda med flygfotogrammetriska metoder och återger, med viss noggrannhet, markytan inom respektive undersökningsområde. Höjdmodellerna är primärt avsedda att användas som underlag för framställning av ortofoto, men har efter överenskommelse med SKB utnyttjats för att kunna användas fristående som en översiktlig markhöjdmodell.

Höjdmodellerna är framställda av Metria under vintern 2001/2002.

3.2 Underlagsmaterial

Underlaget för framställningen av höjdmodellerna har dels utgjorts av flygbilder tagna från flyghöjden 2 300 meter sommaren 2001 med infraröd-känslig färgfilm (IRF-film) av typen Kodak Aerochrome III Infrared Film 1443, dels av flygbilder tagna från flyghöjden 4 600 meter med svart/vit film av typen Kodak Double-X Aerographic Film 2405. I fortsättningen benämns dessa två typer av flygbilder ”2 300-meters bilderna” respektive ”4 600-meters bilderna”.

Till allra största delen har höjdmodellerna framställts ur 2 300-meters bilderna, som har fotograferats för produktion av ortofoto inom detta projekt. 4 600-meters bilderna, som är hämtade ur Lantmäteriets ordinarie flygfotograferingar, har enbart använts i vissa randpartier av undersökningsområdena för att utvidga dessa något utanför vad som täcks av 2 300-meters bilderna. Fotograferingsåren för 4 600-meters bilderna är för Oskarshamnsområdet 1996, för Forsmarksområdet 1992 och för Tierpsområdet 1997.

3.3 Förberedande arbeten

Innan arbetet med framställning av själva höjdmodellen kan påbörjas krävs att en hel del förberedande arbeten är utförda. Redan före flygfotograferingen har antalet stödpunkter planerats, markerats på marken, inmätts geodetiskt och signalerats för att kunna bli synliga i flygbilderna. Från den geodetiska inmätningen har koordinater, i system RT 90 2,5 gon V, och höjd, i system RH 70, beräknats för samtliga dessa signaler.

Efter godkänd flygfotografering har diapositiv framställts och orienteringen hos varje enskild bild fastställts genom blocktriangulering. Blocktrianguleringen utmynnar i en utjämningsberäkning baserad på de geodetiskt bestämda stödpunktskoordinaterna, i flygbilderna mätta bildkoordinater samt en vid flygfotograferingen kontinuerligt utförd GPS-registrering av flygplanets position.

Efter blocktrianguleringen har bilderna digitaliserats i en fotogrammetrisk bildscanner. Denna scanner håller ett medelfel på ca 2 μm i bildskalan. Upplösningen (minsta bildelement) vid scanningen valdes till 12,5 μm . Det innebär att en flygbild är uppdelad i ca 18 400 x 18 400 bildelement och storleken på bildfilen, för en färgbild i tiff-format, är ca 1 Gb.

3.4 Framställning av höjdmodell

Utifrån de digitaliserade flygbilderna och den inpassning av bilderna i referenssystemet som gjorts enligt beskrivningen ovan sker framställningen av höjdmodellen. Höjdmodellen består av höjdpunkter utlagda i ett regelbundet kvadratisk rutnät (grid) orienterat efter koordinatsystemets axlar. För detta projekt har punktavståndet valts till 10 meter. I varje position med jämn 10-meterskoordinat i X-respektive Y-led finns således en höjdpunkt.

För 2 300-meters bilderna, som har en bildskala på 1:15 000, innebär det alltså ett punktavstånd i bilden på 0,67 mm. För 4 600-meters bilderna, bildskala 1:30 000, blir motsvarande värde 0,33 mm.

Framställningen av höjdmodellen sker i två steg. Det första steget är att en automatisk mätning utförs genom att ett stereoskopiskt bildpar i taget samkörs i en digital bildmatchning. Detta är en ren datorbearbetning som matchar ihop sammanhörande bilddetaljer i de två bilderna inom det stereotäckta området. Detta resulterar i en preliminär höjdmodell som oftast avspeglar markytan ganska bra i öppen terräng. Inom skogbevuxna områden däremot kommer modellen att i olika grad, beroende på skogens täthet, avspegla trädtopparnas höjd.

Det andra steget är en manuell editering av den automatiskt framställda höjdmodellen. Vid detta arbete betraktas stereomodellen tredimensionellt i en digital fotogrammetrisk arbetsstation. På stereomodellen visas höjdmodellen överlagrad i form av interpolerade höjdkurvor med en meters ekvidistans. Höjdmodellens överensstämmelse med markytan kan då kontrolleras och vid behov korrigeras höjdmodellen. Korrigeringen sker vanligen genom att operatören manuellt mäter linjer på markytan. Dessa linjer förändrar direkt höjdmodellen och effekten visas genom att kurv bilden ritas om i realtid. Målet är att mäta dessa linjer i sådan omfattning och på ett sådant sätt att höjdmodellen följer terrängens formationer väl. I gles skog går det i regel att bitvis se markytan och där korrigera höjdmodellen till markens nivå. Ju tätare skogen är desto svårare blir det att skönja markytan och osäkerheten växer upp till det läge när krontäcket är helt ogenomträngligt och korrigeringen blir då i princip grundad på en bedömning av trädhöjden.

Samma förfarande är använt för såväl 2 300-meters bilderna som för 4 600-meters bilderna.

3.5 Noggrannhet

Efter den ovan beskrivna blocktrianguleringen är bilderna noggrant inpassade in det geodetiska referenssystemet och fotogrammetrisk mätning i stereo av plankoordinater och höjder för objekt och markyta är möjlig. Som en allmän tumregel för sådan mätning gäller att distinkta objekt (flygsignaler) kan inmätas med ett medelfel på ca 0,1 promille av flyghöjden i planläge och ca 0,15 promille av flyghöjden i höjddled. För diffusare objekt, inklusive bevuxen markyta, tillkommer den inneboende definitionsosäkerhet som olika objekt/ytor har och den tolkningsosäkerhet som avbildningen till flygbilderna ger upphov till. För de slutgiltiga höjdmodellerna i detta fall bedömer vi att mätpunkterna har ett medelfel i öppen terräng på ca 1 meter och i skog på ca 2 meter i de delar som är framställda ur 2 300-meters bilderna. I de delar som är framställda ur 4 600-meters bilderna bedömer vi att medelfelet i öppen terräng är ca 2 meter och i skog ca 4 meter.

I höjdmodellen förekommer språng och variationer över vatten. Detta är en effekt som inte påverkar landområden. Över vatten går det inte att matcha fram en bra höjdmodell eftersom vatten är en yta som ständigt förändras. Därmed blir den matchade höjdmodellen inte bra över vatten. För att åtgärda detta har dessa områden justerats manuellt.

Denna justering har skett genom att kartera en area och interpolera höjderna utifrån kanterna. Eftersom höjden i kanterna inte har satts exakt på noll så uppstår ett språng mellan olika polygoner. Polygonerna var temporära och har därmed inte levererats.

För respektive område har diapositiv, kontaktkopior, redovisning av fotogrammetrisk stödpunktsförtätning, hårddiskar med digitala bilder och ortofoton, CD med höjddata och översikter levererats.

Vidare har nivåkurvor med 1 meters ekvidistans genererats och levererats i både shape och dgn-format till SKB:s GIS-databas.

4 Kvalitet

Metria följer de rekommendationer som finns i handbok till mätning-
kungörelse HMK i tillämpliga delar. Metria bedriver sedan flera år tillbaka
ett målmedvetet kvalitetsarbete. Detta har resulterat i en kvalitetshandbok
utarbetad efter kravstandarden SS-EN ISO 9002. Certifiering av Flygfoto,
Fotolaboratorium, Fotogrammetri och Geodesiverksamheten i Gävle har
genomförts och ett ISO-certifikat med nummer 19218 har utfärdats.

Bilaga 1

Områden för flygbildsfotografering Tierp, Forsmark, Simpevarp

Teckenförklaring							
	Regionalt modellområde		Allmän väg 5-7m		Barn- och blandskog		Låghusbebyggelse
	Område för flygfotografering		Allmän väg <5m		Åker		Industriområde
	IRortofotobilder		På- o. avfart, klass 3		Öppen mark		Fritidsbebyggelse
	\vättendrag 1		Genomfartsgata/vägd		Hygge		Öppen yta
	\vättendrag 2		Gata, större		Fruktodling		\vätten m. osäker strandlinje
	\vättendrag 3		Gata		Sluten bebyggelse		Lövskog
	\vättendrag u. mark		Enskild bättre bilväg		Höghusbebyggelse		
	Allmän väg >7m		Enskild bilväg				
			Enskild sämre bilväg				
			På- o. avfart (d. 3 j tunnel)				
			\vätten				

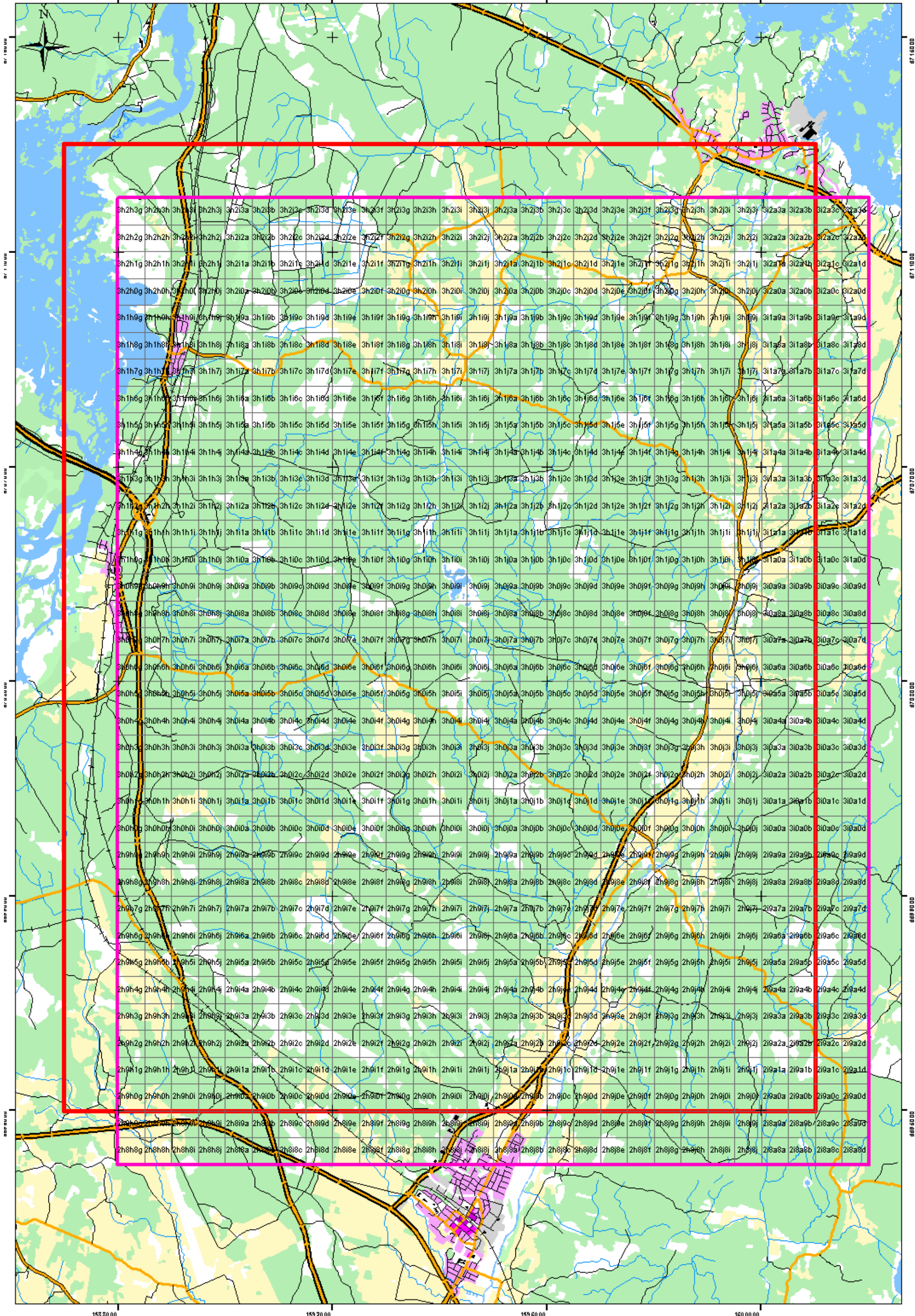
153 20 00

155 20 00

159 00 00

160 00 00

61



153 20 00

155 20 00

159 00 00

160 00 00

87 160 00

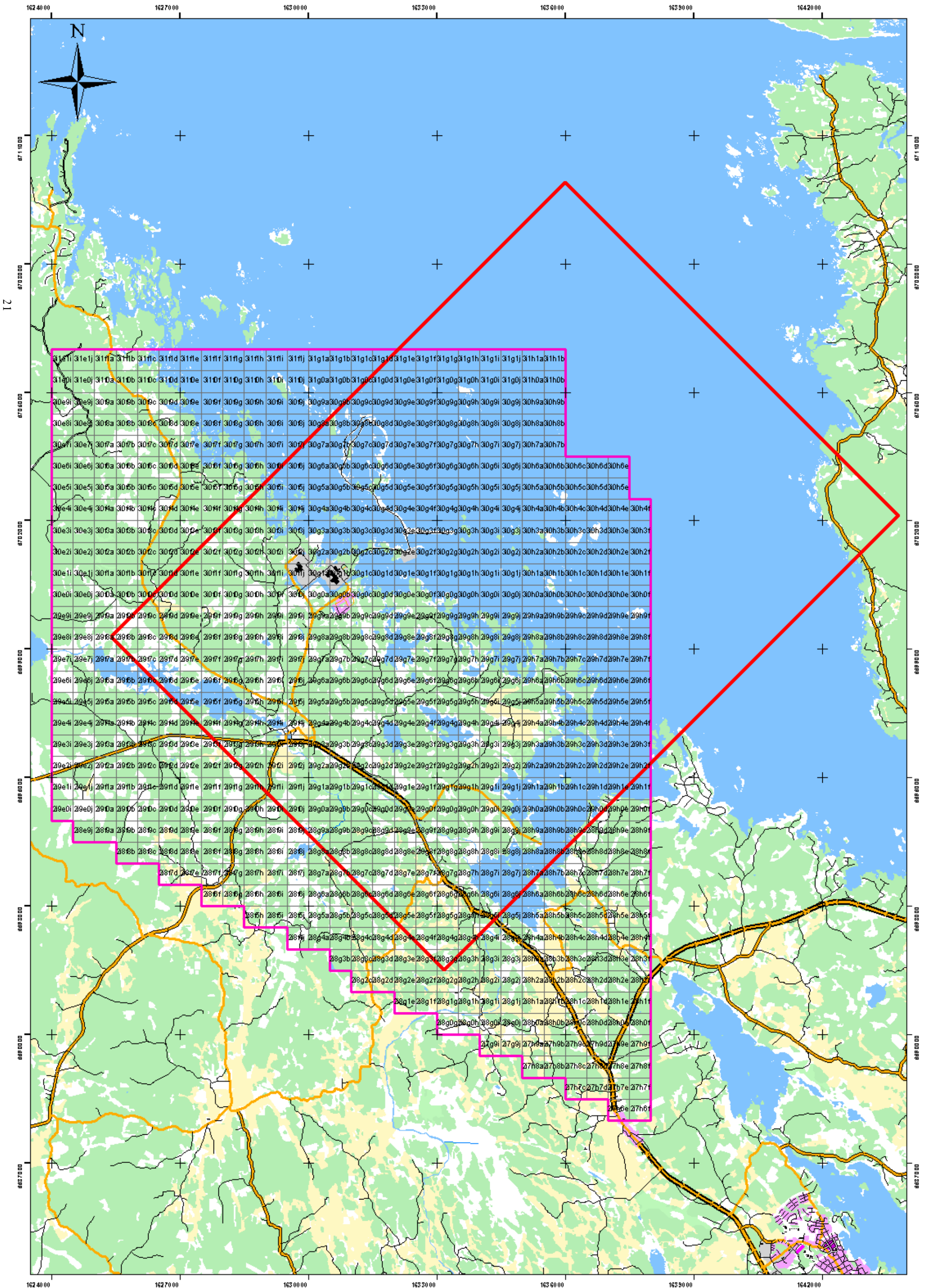
87 110 00

87 070 00

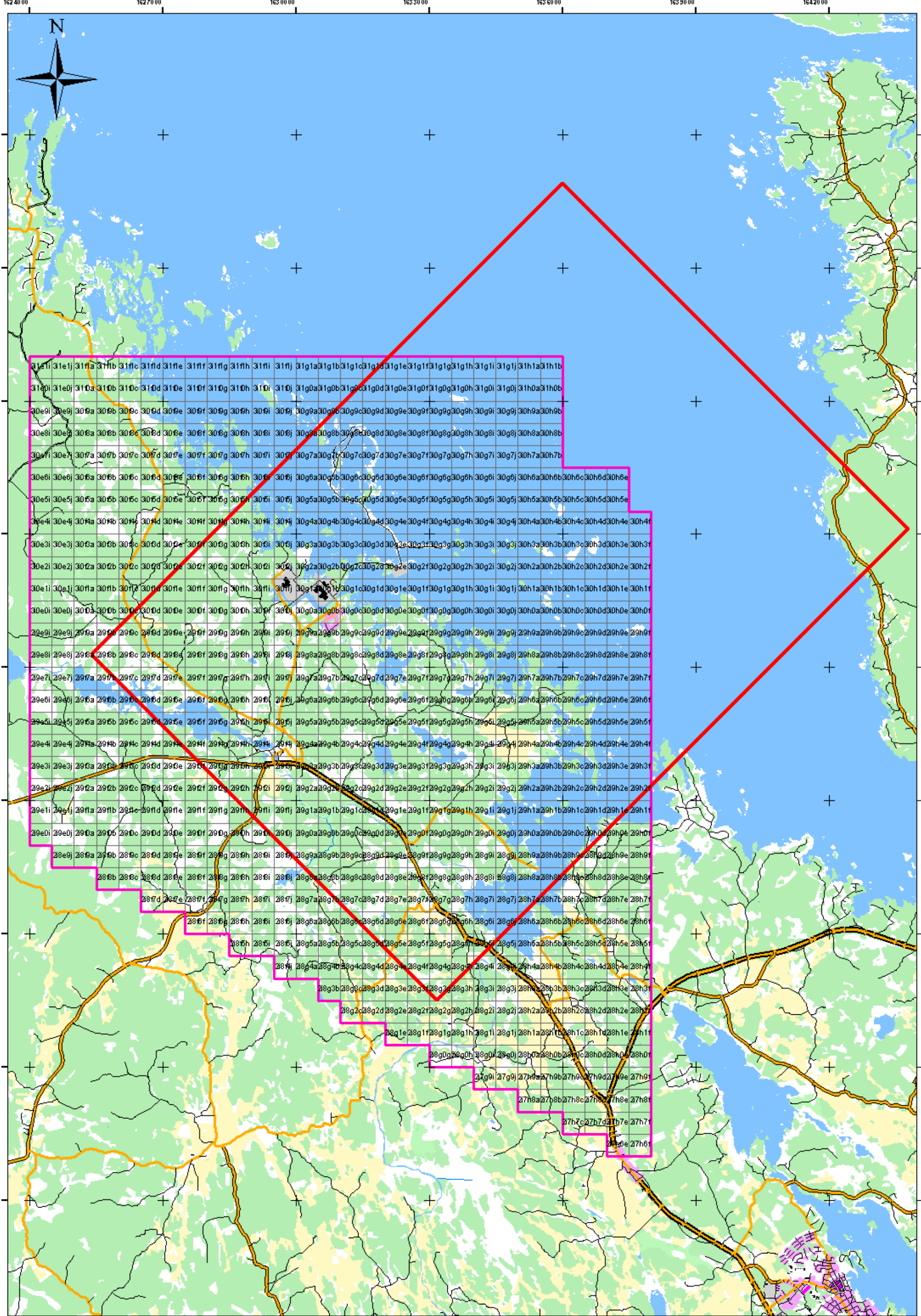
87 030 00

86 990 00

86 950 00



21



162400 162700 163000 163300 163600 163900 164200

162400 162700 163000 163300 163600 163900 164200

8687000 8690000 8693000 8696000 8699000 8702000 8705000 8708000 8711000



Bilaga 2

Flygfotografering

**Flygfotografering
Stråköversikt**

**Tierp
01 804-B**

Län: C
 Kartblad: 12H NO,13H SO
 Kund: SKB
 Flyghöjd: 2300m
 Neg. skala: 15000
 Övertäckning: 60%
 Bildbas: 1380m
 Bildsida: 3450m
 Antal stråk: 6
 Film: IRF-1443
 Översiktsskala: 1:50000

Stråk	Bildnr	Kamera	Datum	Tid
1	1-14	RC30 13258	01-06-27	11.45
2	1-14	RC30 13258	01-06-27	11.39
3	1-14	RC30 15258	01-06-27	11.56
4	1-14	RC30 13258	01-06-27	12.03
5	1-14	RC30 15258	01-06-27	12.10
6	1-14	RC30 13258	01-06-27	12.17



Flygfotografering
Stråköversikt

Forsmark
01 804-C

Län: C
Kartblad: 12I NV,NO, 13I SV,SO
Kund: SKB
Flyghöjd: 2300m
Neg. skala: 15000
Övertäckning: 60%
Bildbas: 1380m
Bildsida: 3450m
Antal stråk: 6
Film: IRF-43
Översiktsskala: 1:50000

Stråk	Bildnr	Kamera	Datum	Tid
1	1-9	RC30 13258	01-06-23	12.08
2	1-10	RC30 13258	01-06-23	12.02
3	1-11	RC30 15258	01-06-23	12.20
4	1-12	RC30 13258	01-06-23	12.14
5	1-13	RC30 15258	01-06-23	12.33
6	1-12	RC30 13258	01-06-23	12.26



**Flygfotografering
Stråköversikt**

**Oskarshamn
01 804-A**

Län: H
Kartblad: 6G SO, 6H SV
Kund: SKB
Flyghöjd: 2300m
Neg. skala: 1:15000
Övertäckning: 60%
Bildbas: 1380m
Bildsida: 3450m
Antal stråk: 8
Film: IRF-43
Översiktsskala: 1:50000



Stråk	Bildnr	Kamera	Datum	Tid
1	1-7	RC30 13258	01-06-25	9.56
2	1-7	RC30 13258	01-06-24	11.13
3	1-11	RC30 13258	01-06-25	10.01
4	1-11	RC30 13258	01-06-24	11.25
5	1-11	RC30 13258	01-06-24	11.31
6	1-11	RC30 13258	01-06-24	11.36
7	1-11	RC30 13258	01-06-24	11.42
8	1-6	RC30 13258	01-06-24	11.47