

Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Masteroppgave 2016 30 stp  
Institutt for matematiske realfag og teknologi

# **Automatisk deteksjon av raviner**

Automatic detection of ravines

Jørgen Loe Kvalberg  
Geomatikk



# Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Institutt for matematiske realfag og teknologi, og er en ferdigstillelse av min mastergradsutdanning i geomatikk ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) på Ås. Oppgaven er gitt av NIBIO, men veiledet av Håvard Tveite (NMBU).

Jeg vil spesielt takke min veileder Håvard Tveite. En mer tålmodig, men samtidig oppmuntrende og interessert veileder skal man lete lenge etter. Takk for raske tilbakemeldinger, god idéutveksling og all annen hjelp.

Takk til Lars Erikstad (NINA) for uvurdelig hjelp i forbindelse med oppstarten av oppgaven.

Takk til Knut Bjørkelo (NIBIO) for anskaffelse av data.





# Sammendrag

Raviner er en viktig del av landskapskarakteren flere steder i Norge. I denne oppgaven presenteres en mulig metode for automatisk kartlegging av raviner. Metoden benytter avrenningsnettverk, og kan fra en digital terrengmodell trekke ut terrengprofiler som står vinkelrett på avrenningsnettverket. Det presenteres hvordan terrengprofilene ved hjelp av terrengets kurvatur kan kuttes etter ravinens bredde, slik at de bare inneholder verdier fra selve ravinen.

Det er testet ulike metoder for klassifisering av terrengprofilene. En som ser på terrengprofilens helling fra bunn til topp og tre basert på kNN (k-nearest neighbors).

Metoden og de ulike klassifiseringsalgoritmene er testet på to studieområder, ett ved Kroer i Follo, og ett ved Gardermoen i Akershus.



# Abstract

Ravines are an important part of the Norwegian landscape. In this thesis, a method for automatic detection of ravines is presented. From flow networks derived from digital elevation models, it extracts terrain profiles perpendicular to the flow lines. It is presented how these terrain profiles, using curvature, can be cut to the ravines width, so that they only contain values relevant to the classification of the ravines.

Different methods for classification of the terrain profiles are tested. One using the slope from bottom to edge, and three using kNN (k-nearest neighbors).

The method and the different classification algorithms have been tested on two different study areas; one from Kroer, Follo, and one from Gardermoen, Akershus.



# Innhold

<b>Forord</b>	<b>I</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>III</b>
<b>Abstract</b>	<b>V</b>
<b>1 Introduksjon</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn . . . . .	1
1.2 Problemstilling . . . . .	1
<b>2 Teori</b>	<b>2</b>
2.1 Raviner . . . . .	2
2.2 Geomorfologi . . . . .	2
2.3 Geomorfometri . . . . .	2
2.4 Terrengmodell . . . . .	3
2.5 Gaussfiltrering . . . . .	4
2.6 Helling . . . . .	5
2.7 Kurvatur . . . . .	7
2.8 Avrenningsnettverk . . . . .	7
<b>3 Metode</b>	<b>11</b>
3.1 Studieområder . . . . .	11
3.2 Programvare . . . . .	11
3.3 Trinnvis gjennomgang . . . . .	12
3.3.1 Konstruksjon av avrenningsnettverk . . . . .	13
3.3.2 Glatting av avrenningsnettverk . . . . .	13
3.3.3 Konstruksjon av profillinjer . . . . .	14
3.3.4 Kantdeteksjon . . . . .	14
3.3.5 Klassifisering . . . . .	17
3.3.6 Fra avrenningsnettverk til ravinelinjer . . . . .	18
<b>4 Resultater</b>	<b>19</b>
4.1 Kantdeteksjon . . . . .	19
4.2 Klassifisering basert på helling til sidekant . . . . .	21
4.3 kNN-klassifisering med helling, kurvatur og høyde . . . . .	23
4.4 kNN-klassifisering med normaliserte profilverdier . . . . .	26

4.5	kNN-klassifisering ved bruk av intervaller . . . . .	28
<b>5</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>30</b>
5.1	Bruk av løsmassekart . . . . .	30
5.2	Vurdering av klassifiseringsmetodene . . . . .	30
5.3	Valg av studieområder . . . . .	31
5.4	Terskling under beregning av avrenningsnettverk . . . . .	31
5.5	Deteksjon av hele raviner og ravinesystemer . . . . .	31
5.6	Bruk av sannsynlighetsverdi under klassifisering . . . . .	32
5.7	Klassifisering av kun sidekantene . . . . .	32
5.8	Annen avstand mellom profillinjene . . . . .	33
5.9	Valg av linjeglattingsmetode . . . . .	33
5.10	Bruk av terrengmodell med lavere oppløsning . . . . .	33
5.11	Bruk av terrengmodell med høyere oppløsning . . . . .	33
5.12	Symmetri . . . . .	34
5.13	Annen beregning av profillinjer . . . . .	35
5.14	Normalisering av profilverdiene . . . . .	35
5.15	Hastighet på Python-modulen . . . . .	35
5.16	Lignende arbeid . . . . .	36
<b>6</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>37</b>
	<b>Bibliografi</b>	<b>39</b>
<b>A</b>	<b>Appendix</b>	<b>41</b>
A.1	Resultatkart . . . . .	41
A.2	Preprosessering . . . . .	50
A.3	Kart over profillinjer . . . . .	53
A.4	Treningsdata . . . . .	55
A.4.1	Kart . . . . .	55

# Figurer

2.1	Skyggerelief laget fra terrengmodell fra Gardemoenområdet. Konstruert fra terrengmodell med 3 meters oppløsning. Koordinatsystem ETRS89, UTM32N. . . .	3
2.2	Skyggerelief av terrengmodell til venstre, skyggerelief av gaussfiltrert ( $\sigma = 3$ ) terrengmodell til høyre. . . . .	4
2.3	Hellingskart fra Gardemoen. Helling i enhet grader. Konstruert fra en gaussfiltrert ( $\sigma = 3$ ) terrengmodell med 3 meters oppløsning. Koordinatsystem ETRS89, UTM32N. . . . .	5
2.4	Terrengprofil fra Gardemoenområdet som viser høydeverdier og hellingsverdier. Høydeverdiene er i meter over ravinens bunn, og er glattet med et gaussfilter med $\sigma = 1$ . Kart med terrengprofilen vises i figur A.11 . . . . .	6
2.5	Kurvatur angis i enhet $m^{-1}$ , der antall meter tilsvarer radiusen i en sirkel som best passer terrengprofilen i det aktuelle punkt. Figur fra Hengl og Reuter, 2008	7
2.6	Profilkurvaturkart fra Gardemoen. Kurvatur i enhet $m^{-1}$ . Konstruert fra en gaussfiltrert ( $\sigma = 3$ ) terrengmodell med 3 meters oppløsning. Det er raviner i området, og kartet viser tydelig at kurvaturen har negative verdier (blått) i bunnen av ravinene der terrengformen er konkav, mens de konvekse formene på ravinens kanter har positive verdier (rødt). Koordinatsystem ETRS89, UTM32N.	8
2.7	Terrengprofil fra Gardemoen som viser høydeverdier og kurvaturverdier. Høydeverdiene er i meter over ravinens bunn. Høydeverdiene og hellingsverdiene er glattet med et gaussfilter med $\sigma = 1$ . Kart med terrengprofilen vises i figur A.11 . . . .	9
2.8	Kart med avrenningsnettverk (blå linjer) fra Gardemoen. Konstruert fra terrengmodell med 3 meters oppløsning med grass modul <i>r.watershed</i> og tersklet på 2500. Avrenningsnettverket er deretter generalisert med <i>v.generalize method=hermite</i> . Koordinatsystem ETRS89, UTM32N. . . . .	10
3.1	Flyt-diagram for deteksjon ved hjelp av avrenningsnettverk og profiler . . . . .	12
3.2	Glattingsmetodene som ble testet. <i>Snakes</i> øverst, <i>Hermite interpolation</i> nederst. De røde linjene er glattet fra den svarte. . . . .	13
3.3	Terrengprofiler beregnet vinkelrett på avrenningsnettverk fra Gardemoen. . . . .	14
3.4	Terrengprofiler klippet etter detekterte sidekanter. . . . .	15
3.5	Terrengprofil fra Romerike. Detekterte kanter er markert med røde vertikale linjer, bunnen av ravinene er markert med lyseblå vertikale linje. Man kan se at kurvaturprofilen har fire maksimalverdier på venstre side, og tre på høyre. Kantdeteksjonsalgoritmen finner her det maksimalpunktet som passer best med ravinens kant. Kartet med profilen vises i figur A.11. . . . .	15

3.6	Flyt-diagram for kantdeteksjon. Bunnpunktsdeteksjonen er kun et nabolagssøk etter laveste høydeverdi. Det ble søkt i en radius fra midten av profilen på 2 samlede verdier i denne oppgaven. Søkeområdet bør ikke være for stort, ettersom man kan risikere å søke inn i en naboravine. . . . .	16
3.7	Figuren viser hvordan hellingen måles i klassifiseringsalgoritmen som klassifiserer en terrengprofil som en ravine dersom hellingen er stor nok. Kartet med profilen vises i figur A.11. . . . .	17
4.1	Metoden har problemer der en eller flere raviner møtes. Resultat fra 3 meters terrengmodell over Gardermoenområdet. . . . .	19
4.2	Terrengprofil fra Kroer. Detekterte kanter er markert med røde vertikale linjer, bunnen av ravinen er markert med lyseblå vertikal linje. Figuren viser at kantdeteksjonsalgoritmen ikke fungerer optimalt når hellingen avtar midt i sidekantene. Kartet med profilen vises i figur A.12. . . . .	20
4.3	Resultatet av klassifisering ved terskling på helling til sidekant på terrengmodell fra Gardermoenområdet med 3 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner. . . . .	21
4.4	Resultatet av klassifisering ved terskling på helling til sidekant på terrengmodell fra Kroer med 5 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner. . . . .	22
4.5	Resultatet av kNN-klassifisering med helling, kurvatur og høyde på terrengmodell fra Gardermoenområdet med 3 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner. . . . .	23
4.6	Resultatet av kNN-klassifisering med helling, kurvatur og høyde på terrengmodell fra Kroer med 3 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner. . . . .	24
4.7	kNN-klassifiseringen basert på høyde, helling og kurvatur skiller godt mellom små landskapsformer som ligner på raviner, og raviner. Kart fra Gardermoenområdet, fra 3 meters terrengmodell. Bakgrunnskart fra Kartverket, (2016). Avgrensning: 6670878-6671512(S-N), 614167-615122(W-E) . . . . .	25
4.8	Resultatet av kNN-klassifisering med normalisert helling, kurvatur og høyde på terrengmodell fra Gardermoenområdet med 3 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner. . . . .	26
4.9	Resultatet av kNN-klassifisering med normalisert helling, kurvatur og høyde på terrengmodell fra Kroer med 3 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner. . . . .	27
4.10	Resultatet av kNN-klassifisering med intervaller. Grønne linjer klassifisert som raviner. . . . .	28
4.11	Resultatet av kNN-klassifisering med intervaller. Grønne linjer klassifisert som raviner. . . . .	29



5.1	Sammenligning av terrengprofil fra terrengmodell med 1 meters oppløsning (øverst) og 3 meters oppløsning (nederst). I dette tilfellet blir kantene detektert på omtrent samme sted, mens bunnen av ravinen (lys blå strek) er mer nøyaktig detektert fra terrengmodellen med 1 meters oppløsning. Her er det ikke påført noe glatting annet enn under konstruksjonen av terrengmodellen (se A.2), og selv om det i dette tilfellet ikke utgjør noen stor forskjell i forhold til detekterte kanter, vil det være et mye større behov for glatting når 1 meters datasettet benyttes fordi kurvaturen påvirkes mye av små endringer i høyde. Å bruke en terrengmodell med lavere oppløsning er i seg selv en form for glatting. Kart med terrengprofilen vises i figur A.13 . . . . .	34
A.1	Resultatet av klassifisering ved terskling på helling til sidekant på terrengmodell fra Gardermoen med 5 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner.	42
A.2	Resultatet av klassifisering ved terskling på helling til sidekant på terrengmodell fra Kroer med 3 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner. . . . .	43
A.3	Resultatet av klassifisering med kNN basert på høyde, helling og kurvatur. Terrengmodell fra Gardermoenområdet med 5 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner. . . . .	44
A.4	Resultatet av klassifisering med kNN basert på høyde, helling og kurvatur. Terrengmodell fra Kroer med 5 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner. . . . .	45
A.5	Resultatet av kNN-klassifisering med normalisert helling, kurvatur og høyde på terrengmodell fra Gardermoenområdet med 5 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner. . . . .	46
A.6	Resultatet av kNN-klassifisering med normalisert helling, kurvatur og høyde på terrengmodell fra Kroer med 5 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner. . . . .	47
A.7	Resultatet av kNN-klassifisering med intervaller. Grønne linjer klassifisert som raviner. . . . .	48
A.8	Resultatet av kNN-klassifisering med intervaller. Grønne linjer klassifisert som raviner. . . . .	49
A.9	Punkttetthet per $3m^3$ for studieområdet ved Gardermoen. Selv med en pikseloppløsning på 3 meter er det flere steder uten noen returnerte laserpunkt (rødt). Koordinatsystem ETRS89, UTM32N. . . . .	51
A.10	Punkttetthet per $3m^3$ for studieområdet ved Kroer. Selv med en pikseloppløsning på 3 meter er det enkelte steder uten noen returnerte laserpunkt (rødt), men i dette studieområdet er det stort sett kun der det egentlig er bygninger. Koordinatsystem ETRS89, UTM32N. . . . .	52
A.11	Kart fra Romerike som viser terrengprofilen i figur 3.5, figur 2.2, figur 2.7. . . . .	53
A.12	Kart fra Kroer som viser terrengprofilen i figur 4.2. . . . .	54
A.13	Kart fra Kroer som viser terrengprofilene i figur 5.1. . . . .	54
A.14	Profillinjene som ble brukt som treningsdata fra Kroer. Koordinatsystem ETRS89, UTM32N. . . . .	55
A.15	Profillinjene som ble brukt som treningsdata fra Gardemoen. Koordinatsystem ETRS89, UTM32N. . . . .	56

# 1. Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn

Raviner er en viktig del av landskapet i Norge. Mange steder er de selve landsskapskarakteren, for eksempel på Romerike og i deler av Trøndelag. De er også en spesiell naturtype internasjonalt, fordi man ikke finner raviner i sin skandinaviske utforming så mange andre steder i verden (Erikstad og Borch, 2015).

På Østlandet, men også i Trøndelag har ravinearealet i marin leire blitt betydelig redusert de siste 50–60 år (Erikstad og Bakkestuen, 2011). Erikstads studier av tre testområder i Østfold i 1992 viste at 60 til 80% av den totale lengden av observerte raviner fra 50- og 60-tallet hadde forsvunnet (Erikstad, 1992). Arealreduksjonen skyldes i stor grad bakkeplanering til jordbruksformål, men i dag er også massedeponering, skredsikring og nedbygging til boligfelt eller veier økende trusler (Jansson og Laugsand, 2014). Ravinen som naturtype ble i 2011 karakterisert som sårbar (Erikstad og Bakkestuen, 2011).

Studier av flyfotografier har tidligere blitt brukt for å undersøke hvor det er raviner (Erikstad, 1992). Områder med skog kan gjøre dette arbeidet vanskelig. En annen metode er feltundersøkelser, for eksempel brukt under kartleggingen av ravinene i Nannestad kommune (Jansson og Laugsand, 2014). Med utviklingen innen tilgangen på detaljerte terrengmodeller, samt rask maskinvare, er det naturlig å undersøke om en algoritme for automatisk deteksjon av raviner fra terrengmodeller vil forenkle dette arbeidet.

## 1.2 Problemstilling

**Utvikle en algoritme for automatisk deteksjon av raviner fra digitale terrengmodeller.**

Oppgaven vil fokusere på deteksjon av raviner dannet i marin leire under marin grense.

**En Python-modul som ble utviklet i forbindelse med denne oppgaven, samt treningsdata, finnes på <https://github.com/jorgkv/master-thesis-ravines>.**

Alle kart i denne oppgaven har brukt koordinatsystem ETRS89, UTM32N (EPSG:25832).

## 2. Teori

### 2.1 Raviner

Erikstad (Jansson og Erikstad, 2014, Erikstad og Borch, 2015) definerer en ravinedal som “en mindre, men skarp V-dal gravd ut av bekk eller elv i finkornede løsmasser (silt eller leire). Den finnes i hovedsak knyttet til tre ulike typer løsmasser: marine leirer, bresjømateriale og morene”.

Den skarpe overgangen mellom et flatt terreng og skråningene ned mot ravinens midtpunkt, samt de bratte skråningene i seg selv karakteriserer ravinene som et geomorfologisk objekt. I tillegg er en ravinedal som oftest en del av et ravinesystem. Et helhetlig system omfatter typisk en hovedravine og flere sideraviner (Erikstad og Borch, 2015).

### 2.2 Geomorfologi

Geomorfologi er vitenskapen om jordoverflatens former og deres opprinnelse. Geomorfologi forklarer landformene ut fra jordskorpens struktur og den geologiske historie (SNL, 2009). For å detektere en spesiell landform fra en høydemodell vil det være nyttig å kjenne til hvilke prosesser som har vært med på å forme landskapet akkurat der. For eksempel beregnes det i denne oppgaven et avrenningsnettverk som en del av kartleggingsalgoritmen for raviner.

### 2.3 Geomorfometri

Geomorfometri er vitenskapen om kvantitativ analyse av jordens overflate (Pike, 2000). Mens man i geomorfologien tar hensyn til prosessene som har formet terrenget, og den geologiske historien, bryr man seg i geomorfometrien kun om selve jordoverflaten og den numeriske representasjonen av den (Pike, 2000).

De fleste geomorfometriske teknikker tar utgangspunkt i en matematisk beskrivelse av terrengoverflaten. En enkel matematisk modell kan være  $z = f(x, y)$ , hvor høyden i et punkt  $z$  kun er avhengig av de kartesiske koordinatene  $x$  og  $y$  (Cayley, 1859). Ser man på et  $3 \times 3$  nabolag i et høyderaster, kan man tilpasse en overflate til de 9 punktene med et polynom. En overflate kan defineres av et andregradspolynom, for eksempel dette, presentert av Evans i 1972 (ifølge Hengl og Reuter, 2008):

$$z = a \cdot x^2 + b \cdot y^2 + c \cdot xy + d \cdot x + e \cdot y + f \tag{2.1}$$

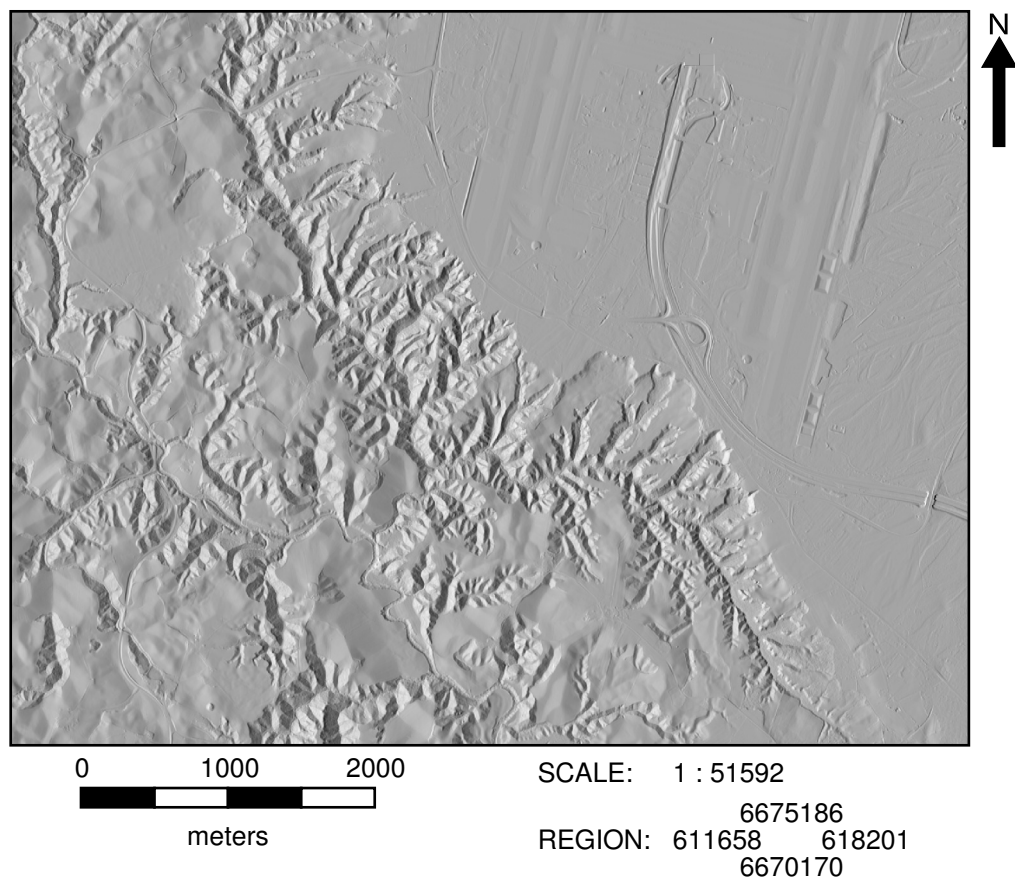
De seks koeffisientene  $a \dots f$  i 2.1 beregnes fra de 9 høydeverdiene i nabolaget. Fra den partiellderiverte av  $Z$  (gradienten) kan vi finne hellingen, mens den andrederiverte brukes til å finne kurvaturen.

En rekke andre overflatepolynomer har blitt presentert, som alle har ulike egenskaper, blant annet av Zevenbergen og Thorne, 1987 og Shary (ifølge Hengl og Reuter, 2008). De ulike egenskapene kan for eksempel være ulik grad av glatting, som følge av at overflaten ikke må passere gjennom alle de 9 punktene (det må brukes 9 koeffisienter skal overflaten kunne passere gjennom alle de 9 punktene).

Geomorfometriske variabler er veldig avhengige av oppløsningen på datasettet som brukes. Evans skrev i 1975 (ifølge Shary mfl., 2002) "A basic problem in geomorphometry is that any measurement varies with scale, i.e. with the extent of the area or line involved". Det er viktig å benytte et datasett med en oppløsning som er fornuftig i forhold til de landskapsformene man arbeider med.

. For en terrengprofil vil terrenghøyden kun være avhengig av en variabel, avstanden fra profilens start;  $z = f(x)$ .

## 2.4 Terrengmodell

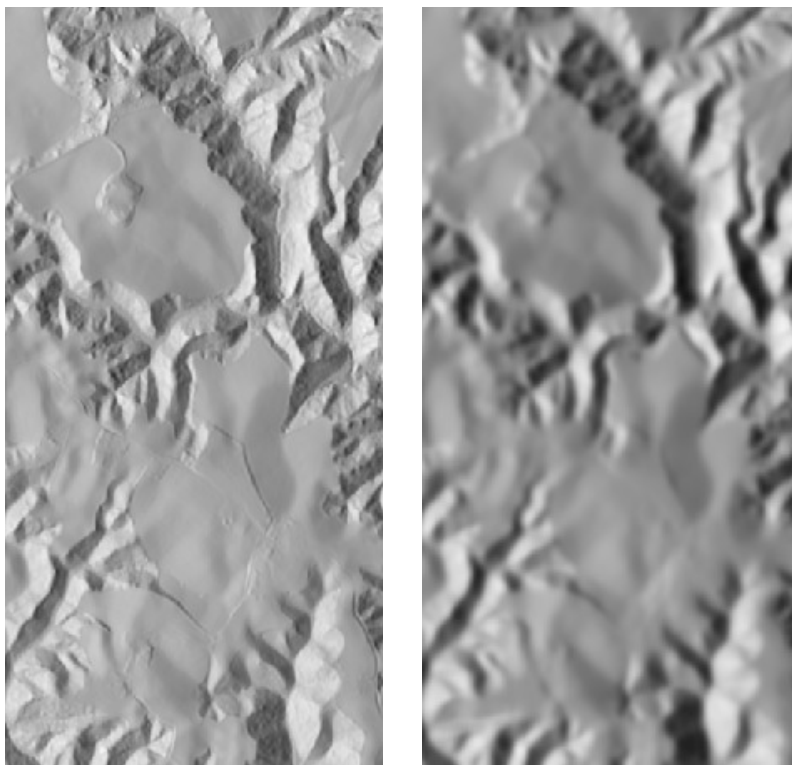


**Figur 2.1:** Skyggerelief laget fra terrengmodell fra Gardemoenområdet. Konstruert fra terrengmodell med 3 meters oppløsning. Koordinatsystem ETRS89, UTM32N.

En digital terrengmodell representeres oftest som et raster, der hver celle i rasteret har en høydeverdi, eller som de vektorbaserte alternativene TIN<sup>1</sup> og høydekurver. I denne oppgaven brukes *terrengmodell* om et digitalt rasterdatasett med høydeverdier som tilnærmer jordas terrengoverflate, altså uten trær og bygninger.

For å visualisere en terrengmodell er det normalt å lage et *skyggerelief* (figur 2.1) av terrengmodellen. Et skyggerelief lages ved hjelp av helling- og *aspect*kart. Et aspectkart er et kart som viser hvilken himmelretning hver piksel i terrengmodellen vender mot. Skyggereliefet vil som kart bedre reflektere topografien i terrengmodellen, og gjøre terrenget klarere og mer intuitivt for det menneskelige øyet (Hengl og Reuter, 2008). Hvis ikke annet er spesifisert, vil kart i denne oppgaven bruke skyggerelief som bakgrunnskart.

## 2.5 Gaussfiltrering



**Figur 2.2:** Skyggerelief av terrengmodell til venstre, skyggerelief av gaussfiltrert ( $\sigma = 3$ ) terrengmodell til høyre.

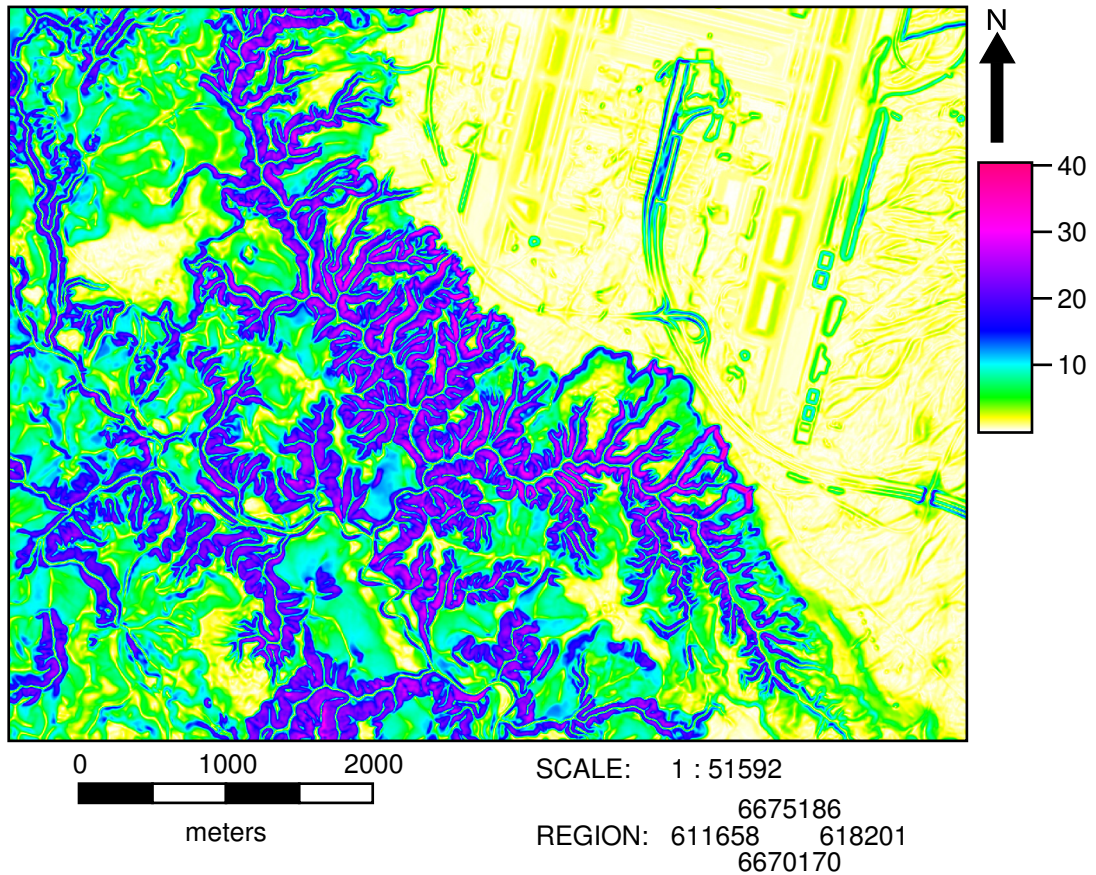
Et gaussfilter er et konvolusjonsfilter med en glattende effekt. Navnet *gauss*filtrering kommer av at filteret er vektet med samme form som sannsynlighetsfordelingen til en todimensjonal gaussisk tilfeldig variabel (Forsyth, 2002). Dette betyr at pikslene i senter av filteret vektet mye sterkere enn pikslene ved filterets kanter. Med et lite standardavvik på sannsynlighetsfordelingen vil filteret glatte mindre enn med et stort standardavvik.

En figur med sammenligning av original terrengmodell og gaussfiltrert terrengmodell med  $\sigma = 3$  vises i figur 2.2.

---

<sup>1</sup>Triangulated Irregular Network

## 2.6 Helling



**Figur 2.3:** Hellingkart fra Gardemoen. Helling i enhet grader. Konstruert fra en gaussfiltrert ( $\sigma = 3$ ) terrengmodell med 3 meters oppløsning. Koordinatsystem ETRS89, UTM32N.

Hellingsgraden beskriver den maksimale endringen i høyde (Hengl og Reuter, 2008), og defineres som

$$SLOPE = \arctan(\nabla \bar{Z}) \quad (2.2)$$

der den partiellderiverte er gitt ved

$$\nabla \bar{Z} = \left( \frac{\partial z}{\partial x}, \frac{\partial z}{\partial y} \right) \quad (2.3)$$

Med utgangspunkt i Evans metode (2.1) kan vi beregne de partiellderiverte:

$$\frac{\partial z}{\partial x} = 2 \cdot a \cdot x + c \cdot y + d \quad (2.4)$$

$$\frac{\partial z}{\partial y} = 2 \cdot b \cdot y + c \cdot x + e \quad (2.5)$$

Siden vi vil beregne hellingen for pikselen i midten av nabolaget, kan vi sette  $x = y = 0$  og får:

$$d = \frac{\partial z}{\partial x} = \frac{z_3 + z_6 + z_9 - z_1 - z_4 - z_7}{6 \cdot \Delta s} \quad (2.6)$$

$$e = \frac{\partial z}{\partial y} = \frac{z_1 + z_2 + z_3 - z_7 - z_8 - z_9}{6 \cdot \Delta s} \quad (2.7)$$

der  $\Delta s$  er pikselstørrelsen i de respektive retningene, og  $z_1 \dots z_9$  høydeverdiene i nabolaget:

$z_1$	$z_2$	$z_3$
$z_4$	$z_5$	$z_6$
$z_7$	$z_8$	$z_9$

Ved å bruke 2.2 på gradientene  $d$  og  $e$  finner vi dermed hellingen:

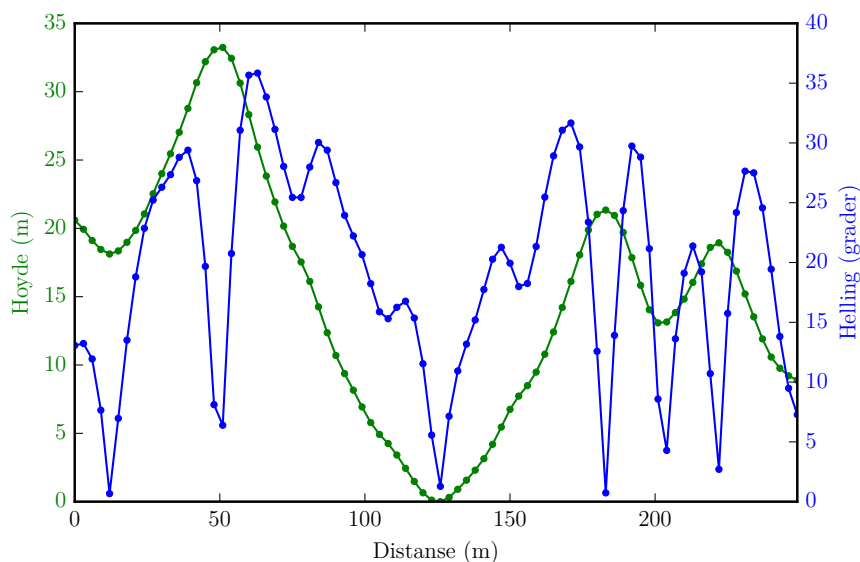
$$SLOPE = \arctan(\sqrt{d^2 + e^2}) \quad (2.8)$$

For en terrengprofil blir imidlertid utregningen av den deriverte enklere (figur 2.4). For nabolaget  $z_{-1}, z_0, z_1$  blir den deriverte til  $z_0$  lik:

$$\frac{dz}{dx} \approx \frac{z_1 - z_{-1}}{2dx} \quad (2.9)$$

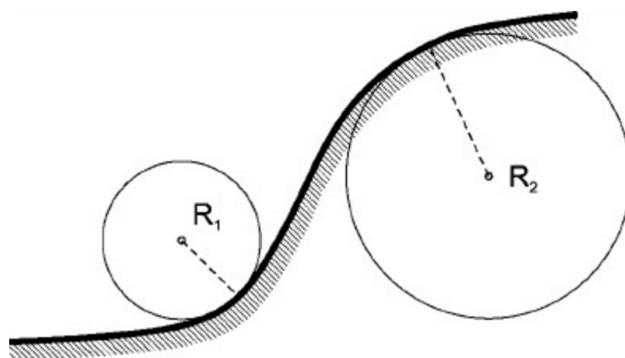
der  $dx$  er avstanden mellom nabolagsverdiene. Hellingen kan da beregnes som

$$SLOPE = \arctan \frac{dz}{dx} \quad (2.10)$$



**Figur 2.4:** Terrengprofil fra Gardemoenområdet som viser høydeverdier og hellingsverdier. Høydeverdiene er i meter over ravinens bunn, og er glattet med et gaussfilter med  $\sigma = 1$ . Kart med terrengprofilen vises i figur A.11

## 2.7 Kurvatur



**Figur 2.5:** Kurvatur angis i enhet  $m^{-1}$ , der antall meter tilsvarer radiusen i en sirkel som best passer terrengprofilen i det aktuelle punkt. Figur fra Hengl og Reuter, 2008

Den andrederiverte av en terrengoverflate beskriver hvordan hellingen endrer seg, og kalles kurvatur. Det er vanlig å gi konvekse terrengformer positive verdier, og konkave terrengformer negative verdier (Hengl og Reuter, 2008). Kurvaturen angis som oftest i  $m^{-1}$ , det vil si at en kurvatur på 0.05 tilsvarer en radius på 20 meter i en sirkel som best passer terrengoverflaten i det aktuelle punkt (Hengl og Reuter, 2008 og Shapiro og Waupotitsch, 2015). De vanligste retningene å beregne kurvatur på er vertikalt, kalt **profilkurvatur** (eksempel i figur 2.6), og horisontalt, kalt **tangentiell kurvatur**.

Etter Krcos metode (ifølge Hengl og Reuter, 2008) kan kurvaturene beregnes slik:

$$r = \frac{\partial^2 z}{\partial^2 x}, \quad s = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y}, \quad t = \frac{\partial^2 z}{\partial^2 y} \quad (2.11)$$

$$PROFC = -\frac{p^2 \cdot r + 2 \cdot p \cdot q \cdot r \cdot s + q^2 \cdot t}{(p^2 + q^2) \cdot \sqrt{(1 + p^2 + q^2)^3}} \quad (2.12)$$

$$TANGC = -\frac{q^2 \cdot r - 2 \cdot p \cdot q \cdot s + p^2 \cdot t}{(p^2 + q^2) \cdot \sqrt{1 + p^2 + q^2}} \quad (2.13)$$

For en terrengprofil vil profilkurvaturen (figur 2.7) enkelt kunne beregnes; ser vi på nabolaget med hellingene  $s_{-1}$ ,  $s_0$ ,  $s_1$  blir kurvaturen til  $s_0$  lik

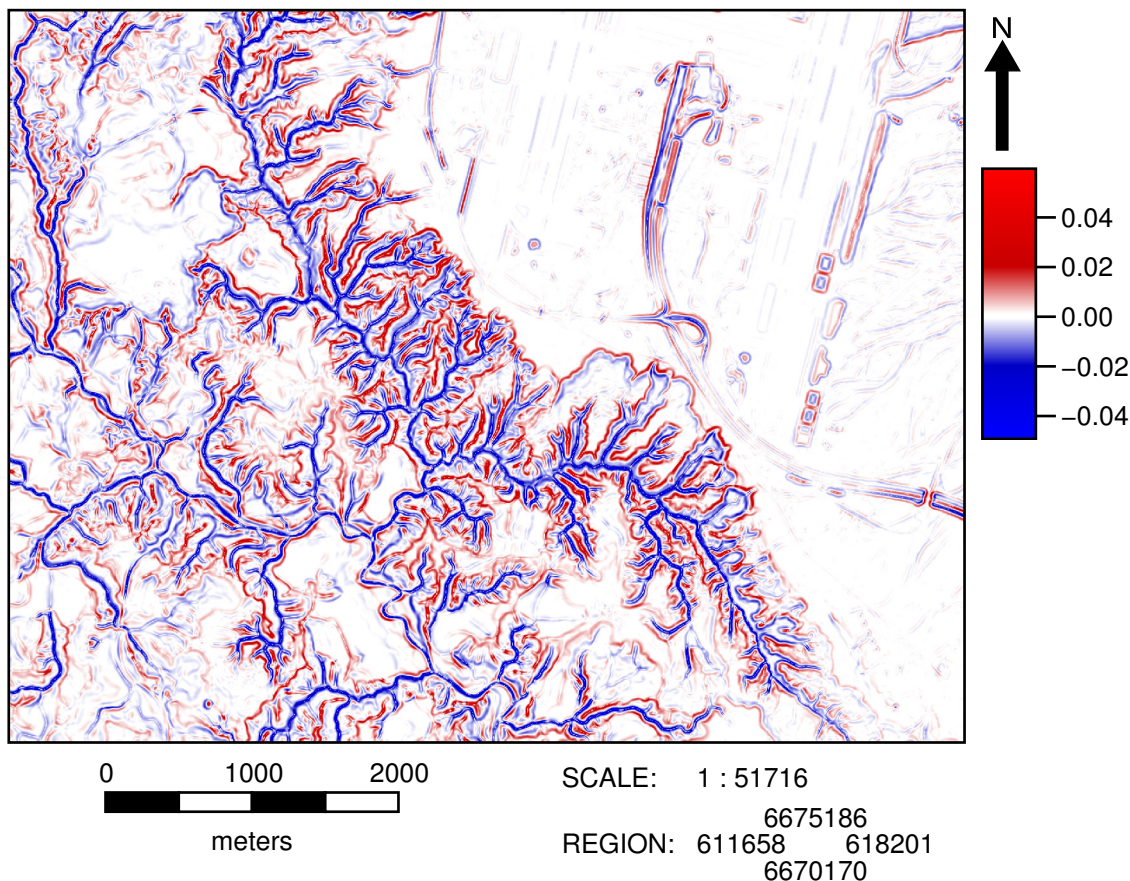
$$PROFC_{z_0} = \frac{s_1 - s_{-1}}{2dx} \quad (2.14)$$

der  $s_1$  og  $s_{-1}$  er hellingen i henholdsvis  $z_1$  og  $z_{-1}$ , og  $dx$  avstanden mellom nabolagsverdiene.

## 2.8 Avrenningsnettverk

Med en terrengmodell kan man beregne hvilken vei vannet trolig vil renne i alle pikslene. Tenker man seg at man står et sted i terrengmodellen, og slipper en dråpe vann rett ned, forventer man at vannet vil renne til den nabolagscellen med størst negativ høydeforskjell (Hengl og Reuter,





**Figur 2.6:** Profilkurvaturkart fra Gardemoen. Kurvatur i enhet  $m^{-1}$ . Konstruert fra en gaussfiltrert ( $\sigma = 3$ ) terrengmodell med 3 meters oppløsning. Det er ravinene i området, og kartet viser tydelig at kurvaturen har negative verdier (blått) i bunnen av ravinene der terrengformen er konkav, mens de konvekse formene på ravinens kanter har positive verdier (rødt). Koordinatsystem ETRS89, UTM32N.

2008). Et kart der det er beregnet hvilken nabolagscelle vannet vil renne til for alle cellene i terrengmodellen kalles et *flow direction*-kart.

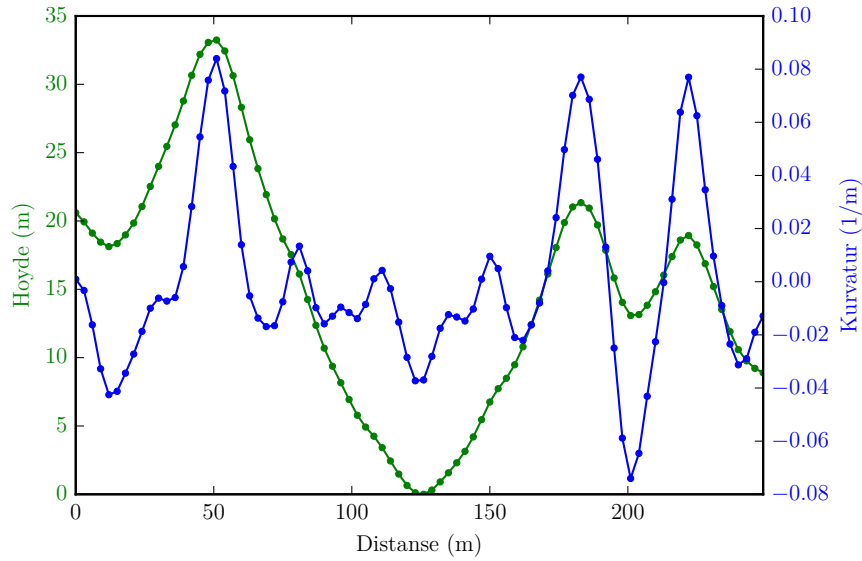
Etter å ha beregnet et *flow direction*-kart kan man for hver celle i terrengmodellen beregne hvor mange piksler som ville avgitt vann til hver enkelt celle. Dette kalles *flow accumulation* (Hengl og Reuter, 2008). En celle i bunnen av en dal vil ha en stor akkumuleringsverdi fordi mange celler vil lede vann dit, mens en celle på toppen av en fjelltopp vil ha en veldig liten verdi<sup>2</sup> fordi ingen andre celler leder vann dit.

Ved å terskle et *flow accumulation*-kart kan man trekke ut linjer som viser avrenningsnettverk, altså linjer som viser hvor vannet renner gjennom terrengmodellen. Hvilken tersklingsverdi som brukes er viktig; en stor tersklingsverdi vil kun få med de største vassdragene<sup>3</sup>, mens en lav verdi vil få med også mindre bekker.

I tillegg til stegene nevnt over er det som regel vanlig å fylle alle groper i terrengmodellen før et *flow direction*-kart beregnes (Jenson og Domingue, 1988). Grunnen er at man gjerne vil

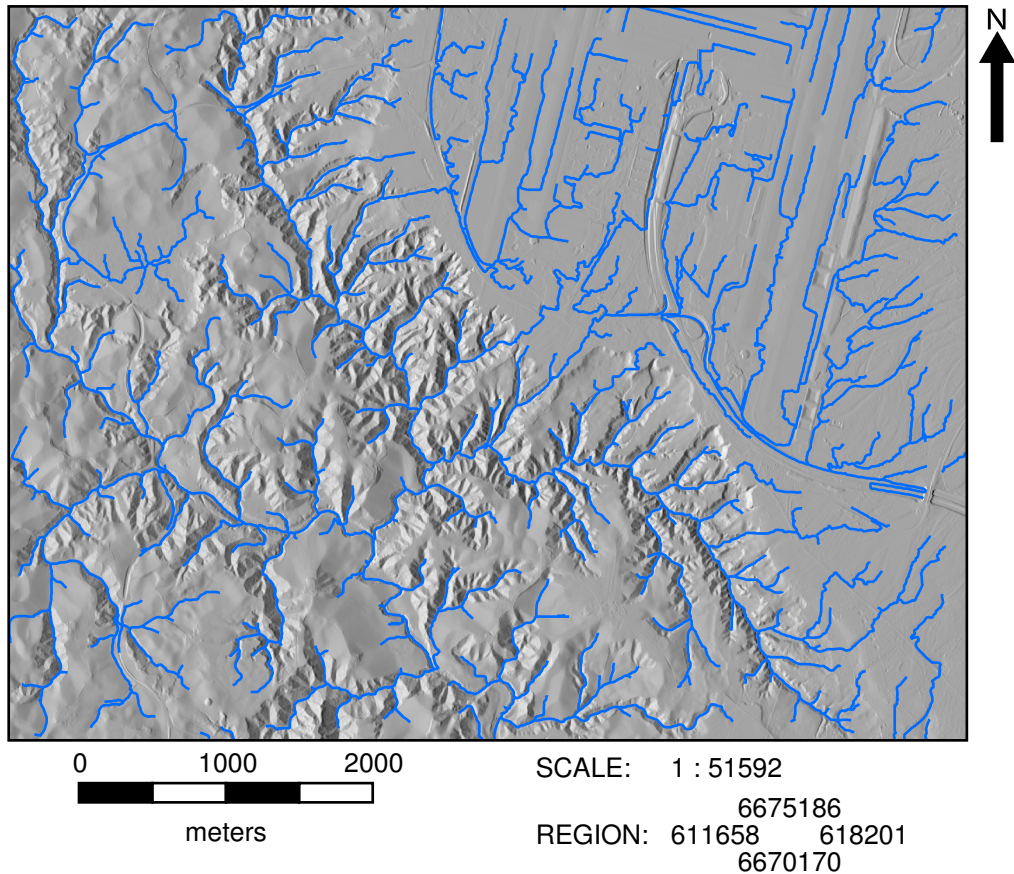
<sup>2</sup>Som oftest gis alle cellene en verdi som er lik summen av alle cellene som leder vann dit, og dermed ville cellen hatt verdi 0 (Jenson og Domingue, 1988).

<sup>3</sup>Forutsatt at en avrenningslinje er et vassdrag.



**Figur 2.7:** *Terrengprofil fra Gardemoen som viser høydeverdier og kurvaturverdier. Høydeverdiene er i meter over ravinens bunn. Høydeverdiene og hellingsverdiene er glattet med et gaussfilter med  $\sigma = 1$ . Kart med terrengprofilen vises i figur A.11*

at avrenningslinjene skal følge den generelle hellingen gjennom feks en dal, og ikke stoppe et sted kun fordi en piksel kanskje har en for lav høydeverdi grunnet for eksempel unøyaktigheter i målingene.



**Figur 2.8:** Kart med avrenningsnettverk (blå linjer) fra Gardemoen. Konstruert fra terrengmodell med 3 meters oppløsning med grass modul *r.watershed* og tersklet på 2500. Avrenningsnettverket er deretter generalisert med *v.generalize method=hermite*. Koordinatsystem ETRS89, UTM32N.

## 3. Metode

Raviner er et resultat av erosjon fra rennende vann i marine løsmasser, og derfor vil denne metoden ta utgangspunkt i et avrenningsnettverk. Tanken er at man ved hjelp av avrenningsnettverket kan se på terrengprofiler som står vinkelrett på avrenningsnettverket, for å klassifisere disse profilene som en del av en ravine, eller ikke.

Forsenkningene som ravinene danner i terrenget, vil ha karakteristika det bør være mulig å klassifisere etter for en terrengprofil fra kant til kant, vinkelrett på ravinene. Forsenkningen vil øke i dybde og utstrekning nedover i ravinesystemet. Sidekantene vil være jevnt bratte, men flate ut raskt mot kantene. Bunnen kan være spiss, men også ha en viss avrundning eller i noen tilfeller være flat, hvis ravinene har nådd erosjonsbasis.

Metoden legger opp til at man skal kunne bruke ulike klassifiseringsalgoritmer, og for å ta hensyn til at bredden og dybden på en ravine kan variere stort, vil det prøves ut klassifiseringsalgoritmer med normaliserte versjoner av høyden, hellingen og kurvaturen.

Metoden har i hovedsak fokusert på å kunne klassifisere terrengprofiler, og deteksjon eller klassifisering av hele ravinesystemer vektlegges derfor ikke her, men diskuteres i kapittel 5.5.

### 3.1 Studieområder

Fra laserdata over Follo og Jessheim/Ullensaker i Akerhus, ble det valgt ut to studieområder. Ett over Kroer i Follo, og ett over Gardemoenområdet. Det ble konstruert terrengmodeller i 3 og 5 meters oppløsning over begge studieområdene. Mer informasjon om laserdatasettene og konstruksjon av terrengmodell finnes i Appendix A.2.

Studieområdet ved Kroer er preget av relativt flatt terreng, med få og grunne raviner. Studieområdet ved Gardemoen inneholder mange og dype raviner med generelt brattere helling enn ved Kroer.

### 3.2 Programvare

Utviklingen av denne metoden er i hovedsak gjort med Python 2.7.11 og Grass GIS 7.0.3.

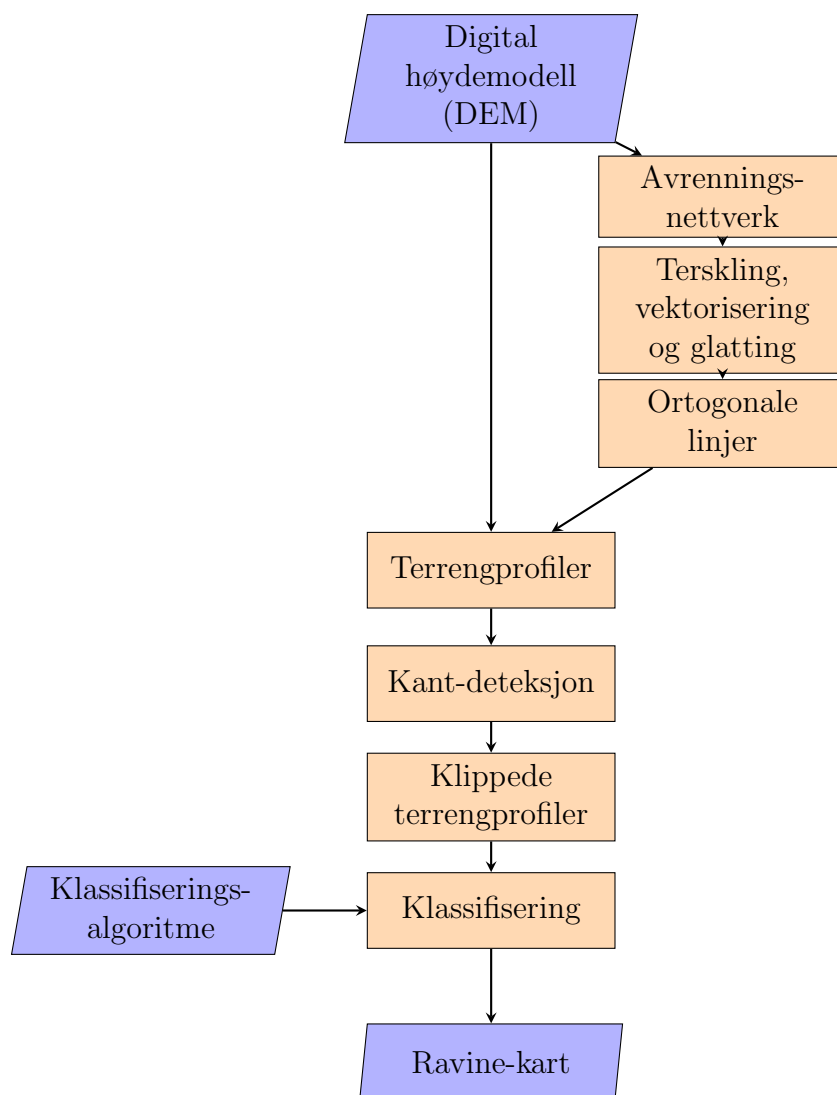
Python beskrives som “et enkelt å lære, kraftig programmeringsspråk, med effektive høynivå datastrukturer, og en enkel men effektiv tilnærming til objektorientert programmering” (Python Software Foundation, 2016). Python er brukt for å automatisere så mye som mulig av metoden, samt gjøre arbeidet reproducerbart. I tillegg til Pythons standardbibliotek er pakkene *numpy*,

*scipy*, *scikit-learn* og *matplotlib* brukt, samt Grass GIS eget Python API.<sup>1</sup>

En Python-modul ble utarbeidet i arbeidet med denne masteroppgaven, og kan finnes på urlen som står på side 1. Objektorientert programmering ble brukt etter denne tankegangen; et avrenningsnettverk inneholder mange avrenningslinjer, som hver vil ha mange terrengprofiler.

Grass GIS 7 er et fritt geografisk informasjonssystem med åpen kildekode. Det brukes til håndtering og analyse av romlige data, fly- og satellittbildeprosessering, kartproduksjon, og romlig modellering og visualisering (GRASS Development Team, 2016).

### 3.3 Trinnvis gjennomgang



**Figur 3.1:** Flyt-diagram for deteksjon ved hjelp av avrenningsnettverk og profiler

Flyt-diagrammet i figur 3.1 presenterer stegene i metoden, og de vil også forklares her.

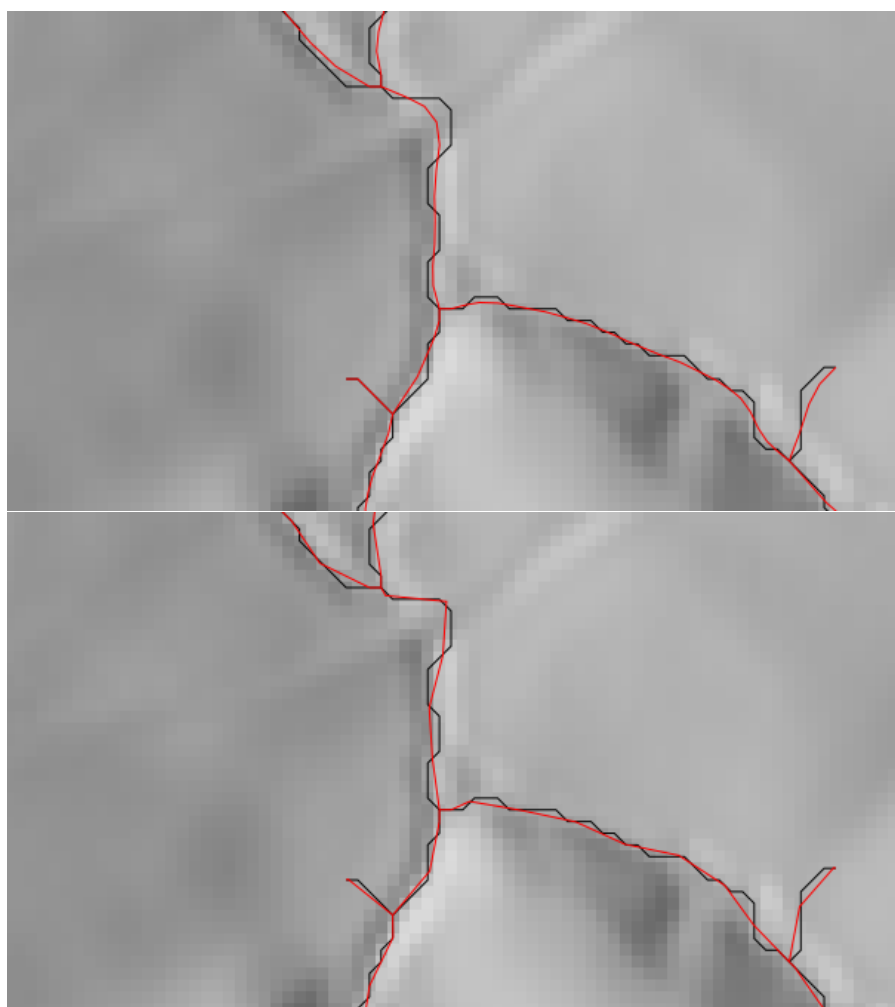
<sup>1</sup>Grass Python-API installeres ikke som en vanlig Pythonpakke, men pakken linkes til gjennom operativsystemets miljøvariabler. Mer informasjon kan finnes her: [https://grasswiki.osgeo.org/wiki/GRASS\\_and\\_Python](https://grasswiki.osgeo.org/wiki/GRASS_and_Python)

### 3.3.1 Konstruksjon av avrenningsnettverk

Med grassmodulen `r.watershed` blir et akkumuleringskart konstruert før det terskles med verdi 2500 for terrengmodellene med 3 meters oppløsning, og 250 for terrengmodellene med 5 meters oppløsning. Deretter tynnes akkumuleringskartet med `r.thin` og vektoriseres med `r.to.vect`.

### 3.3.2 Glattning av avrenningsnettverk

Sett fra fugleperspektiv er raviner glatte linjer<sup>2</sup>, og derfor er dette steget veldig viktig med tanke på profillinjene som skal trekkes ut vinkelrett på avrenningsnettverket. Er avrenningsnettverket for kantete vil profillinjene konstrueres i uheldige vinkler, og i noen tilfeller ikke treffe ravinens sidekanter, men heller trekkes ut langsmed ravinen.



**Figur 3.2:** *Glattingsmetodene som ble testet. Snakes øverst, Hermite interpolation nederst. De rød linjene er glattet fra den svarte.*

Grassmodulen `v.generalize` inneholder seks ulike glattingsalgoritmer, og av disse ble *Hermite interpolation* og *Snakes* testet. Bundala mfl., (2016) beskriver *Hermite interpolation* som en algoritme som bruker punktene i originallinjen som kontrollpunkter i en kubisk hermitsk

---

<sup>2</sup>Hvis man trekker ut linjer langs bunnen av ravinene.



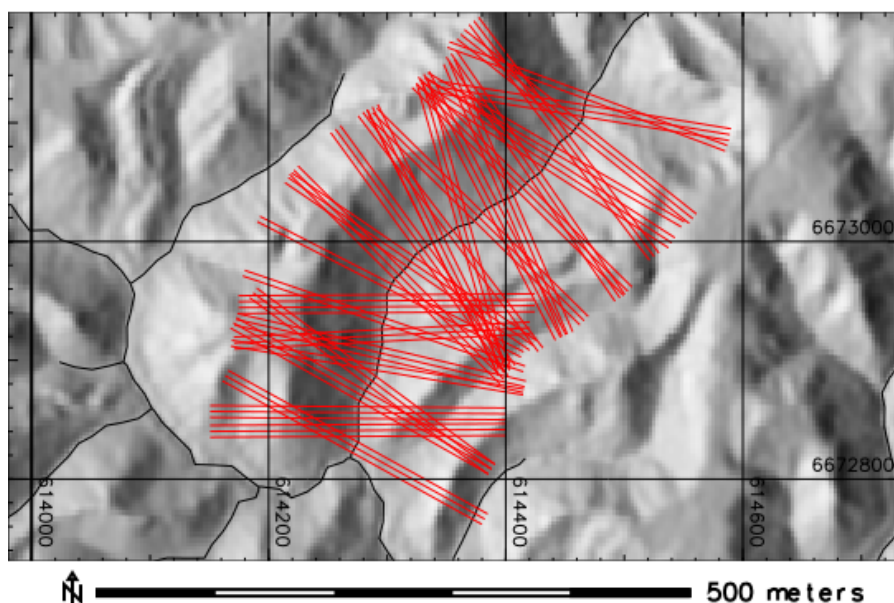
spline, og tilnærmer den med punktene som ligger en gitt terskel fra hverandre. *Snakes* beskrives som en algoritme som minimerer energien til en linje.

*Snakes* har den egenskapen at den kutter hjørnene i en linje ganske betraktelig. I figur 3.2 kan man se at et av hjørnene kuttet. Hvor mye som kuttet kan til en viss grad styres av argumentene som gis algoritmen.

*Hermite interpolation* har den egenskapen at punktene til den glattede linja er en del av punktene til linja før den ble glattet. Ved hjelp av den egenskapen, samtidig som man setter en glattingsavstand liten nok, vil man unngå at hjørner kappes. Av de to algoritmene ble det valgt å bruke hermite interpolation.

### 3.3.3 Konstruksjon av profillinjer

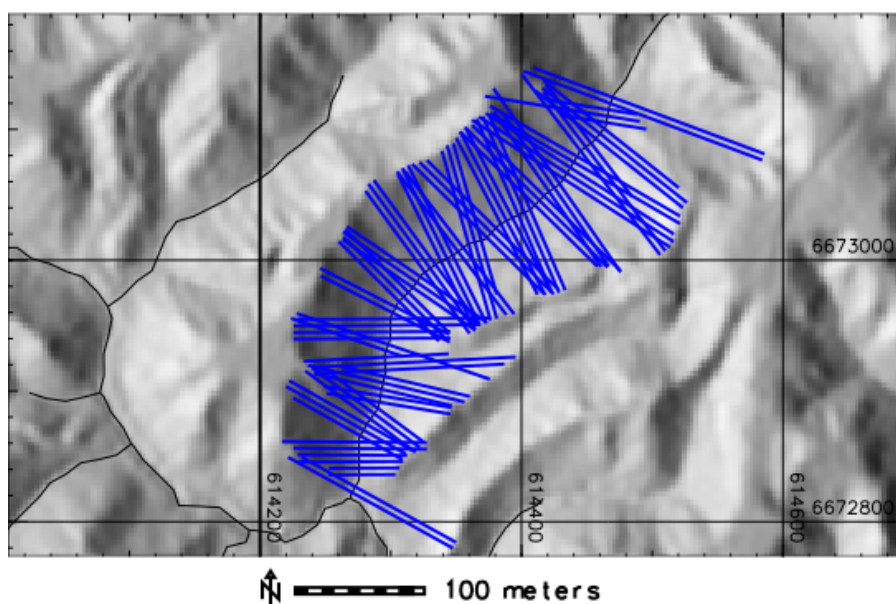
For hver linje i avrenningsnettverket blir det trukket ut profillinjer som står vinkelrett på avrenningsnettverket. Avstanden mellom profillinjene ble satt til 5 meter, uansett om terrengmodellens oppløsning var 3 eller 5 meter. Etter å ha undersøkt bredden på forskjellige raviner i Østlandsområdet ble lengden på terrengprofilene satt til 250 meter.



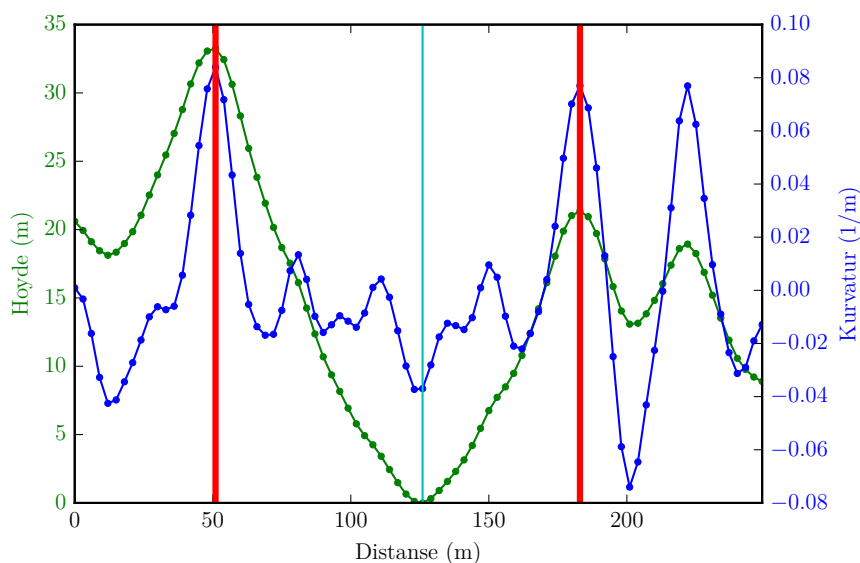
Figur 3.3: Terrengprofiler beregnet vinkelrett på avrenningsnettverk fra Gardemoen.

### 3.3.4 Kantdeteksjon

Når algoritmen finner profillinjer som står vinkelrett på avrenningsnettverket strekker profillene seg utover ravinens avgrensning, hvis ikke en for kort profillengde er valgt. Etter å ha sett på ravineområder i Follo og på Romerike ble en profillengde på 250 meter valgt. For å kutte ravineprofilene til ravinens avgrensning ble det brukt en fremgangsmåte som beskrevet i figur 3.6.



**Figur 3.4:** *Terrengprofiler klippet etter detekterte sidekanter.*



**Figur 3.5:** *Terrengprofil fra Romerike. Detekterte kanter er markert med røde vertikale linjer, bunnen av ravinen er markert med lyseblå vertikal linje. Man kan se at kurvaturprofilen har fire maksimalverdier på venstre side, og tre på høyre. Kantdeteksjonsalgoritmen finner her det maksimalpunktet som passer best med ravinens kant. Kartet med profilen vises i figur A.11.*

Denne metoden fungerer slik; terrengprofilens bunnpunkt detekteres<sup>3</sup> ved nabolagssøk på

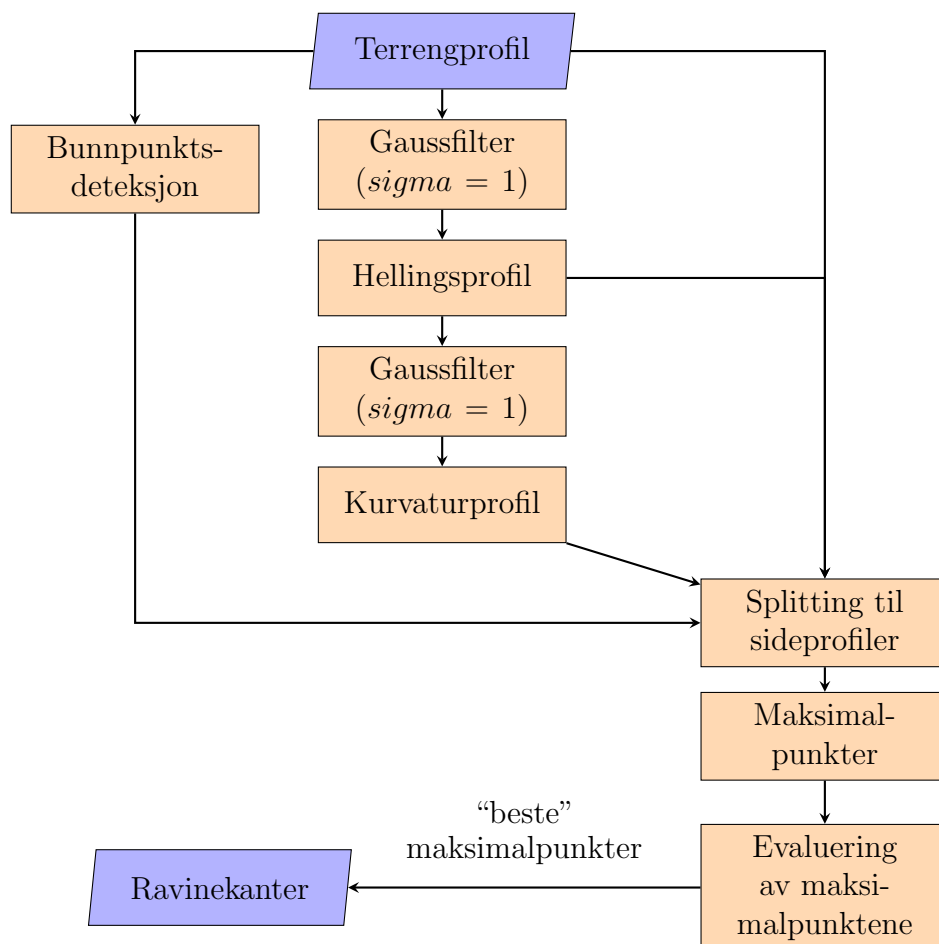
<sup>3</sup>Dette skal befine seg i kort nærhet fra avrenningsnettverket, men i mange tilfeller viste det seg at avrenningsnettverket gjerne lå en eller flere piksler fra bunnen av terrengprofilen. Dette kan skyldes for eksempel glatting i forkant av beregningen av avrenningsnettverket



2 piksler i hver retning fra terrengprofilens midtpunkt. Helling beregnes fra høydeverdiene glattet med et gaussfilter med  $\sigma = 1$ . Kurvaturen beregnes fra hellingsverdiene glattet med gaussfilter med  $\sigma = 1$ . Deretter deles profilen i to fra profilens midtpunkt, og hver sidekant detekteres for seg. Ved kanten på ravinen vil kurvaturen ha et maksimalpunkt. Derfor evalueres alle maksimalpunktene til kurvaturen for å finne det punktet der

- gjennomsnittlig helling er størst<sup>4</sup>
- antall samlede punkt på profillinjen er lik eller mer enn minimumsantallet<sup>5</sup>
- høydeverdien er større enn minimumshøydeverdien<sup>6</sup>

I figur 3.5 vises en terrengprofil med høyde, kurvatur og detekterte kanter.



**Figur 3.6:** Flyt-diagram for kantdeteksjon. Bunnpunktsdeteksjonen er kun et nabolagsøk etter laveste høydeverdi. Det ble søkt i en radius fra midten av profilen på 2 samlede verdier i denne oppgaven. Søkeområdet bør ikke være for stort, ettersom man kan risikere å søke inn i en naboravine.

<sup>4</sup>Fra bunnen av ravinen og til maksimalpunktet.

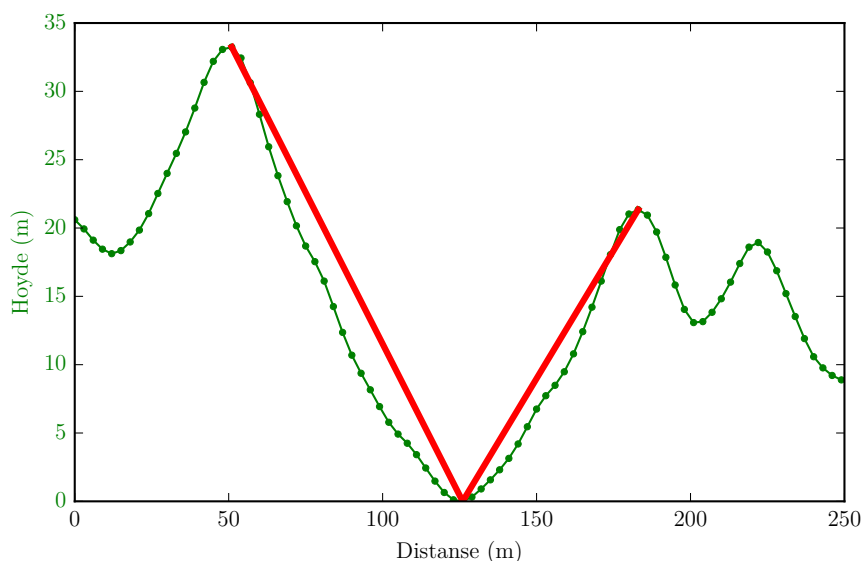
<sup>5</sup>I denne metoden ble det brukt et minimumsantall på 4.

<sup>6</sup>I denne metoden ble det brukt en minimumshøydeverdi på 2 meter, fra bunnen av ravinen og til kanten.

### 3.3.5 Klassifisering

Selve klassifiseringen av terrengprofilene ble gjort helt uavhengig av resten av metoden. En klassifiseringsfunksjon får tilgang til hvert individuelle profilobjekt, og dermed også alle egenskapene til profilen.<sup>7</sup> Ulike klassifiseringsalgoritmer kan dermed utvikles relativt enkelt, og i denne oppgaven er det brukt to ulike klassifiseringer, beskrevet

#### Klassifisering basert på helling til sidekant



**Figur 3.7:** Figuren viser hvordan hellingen måles i klassifiseringsalgoritmen som klassifiserer en terrengprofil som en ravine dersom hellingen er stor nok. Kartet med profilen vises i figur A.11.

Metoden klassifiserer alle terrengprofiler med en helling fra bunnen av ravinen og til sidekantene (se figur 3.7) på mer enn 8.5 grader som raviner. Tallet ble valgt etter å ha sett på terrengprofiler i Kroer, hvor ravinene generelt er grunnere og har lavere helling enn ravinene ved Gardemoen.

#### kNN-klassifisering med høyde, kurvatur og helling

Ved hjelp av et treningsdatasett kan man med en kNN-klassifisering klassifisere nye verdier ut fra de  $k$  nærmeste naboene (Scikit-learn developers, 2014). I denne metoden ble det brukt  $k = 5$ , og en uniform vektning av naboene.<sup>8</sup> Ved hjelp av flybilder og kart ble det plukket ut terrengprofiler som trolig ligger i raviner, og terrengprofiler som ikke ligger i raviner. Basert på disse terrengprofilene ble det laget et treningsdatasett som ble brukt under klassifiseringen. Treningsdatasettet finnes på github<sup>9</sup>, og kart over terrengprofilene brukt til treningsdatasettet finnes i A.4.1.

<sup>7</sup>Høydeverdier, helling, kurvatur, både hele profiler, begge sideprofilene, og interpolerte verdier.

<sup>8</sup>Det ble testet ut både uniform og *inverse distance based* vektning, men resultatene var veldig like.

<sup>9</sup><https://github.com/jorgkv/master-thesis-ravines>

Fra hver terrengprofil ble det brukt høyde, helling og kurvatur, interpolert lineært til 20 verdier fra bunn til kant. Det betyr at uansett den kuttete terrengprofilens bredde ble 20 verdier brukt for hver terrengvariabel, for hver kant. På den måten kan man sammenligne terrengprofiler uavhengig av antall målte verdier i den kuttete terrengprofilen.

Metoden klassifiserer hver sideprofil for seg, men for at en hel terrengprofil skulle klassifiseres som en del av en ravine må begge sidekantene klassifiseres som en del av klassen ravine.

kNN-klassifiseringsalgoritmen brukt i denne metoden er en del av Python-pakken *scikit-learn*.

### **kNN-klassifisering med normaliserte profilverdier**

Høyde, helling og kurvatur ble for hver terrengvariabel normalisert ved å dele profilverdiene på maksimumsverdiene. Hensikten med dette er å sørge for at ulikheter i målestokk mellom ravinene ikke skal påvirke klassifiseringen. Fremgangsmåten videre er den samme som beskrevet i 3.3.5.

### **kNN-klassifisering ved bruk av intervaller**

Denne metoden bygger på metoden Robert, (2015) benytter under gaussisk klassifisering av daler. Ved hjelp av treningsdataene ble det undersøkt hvor stor andel av de 20 interpolerte verdiene som er negative, og hvor mange som er positive. For hellingen ble det undersøkt hvor stor andel hellingsverdier det finnes med helling mindre enn 5 grader, mellom 5 og 30 grader, mellom 30 og 50 grader, og mer enn 50 grader. For hver terrengprofil som skal klassifiseres finner metoden de samme målene og klassifiser ved hjelp av kNN.

### **3.3.6 Fra avrenningsnettverk til ravinelinjer**

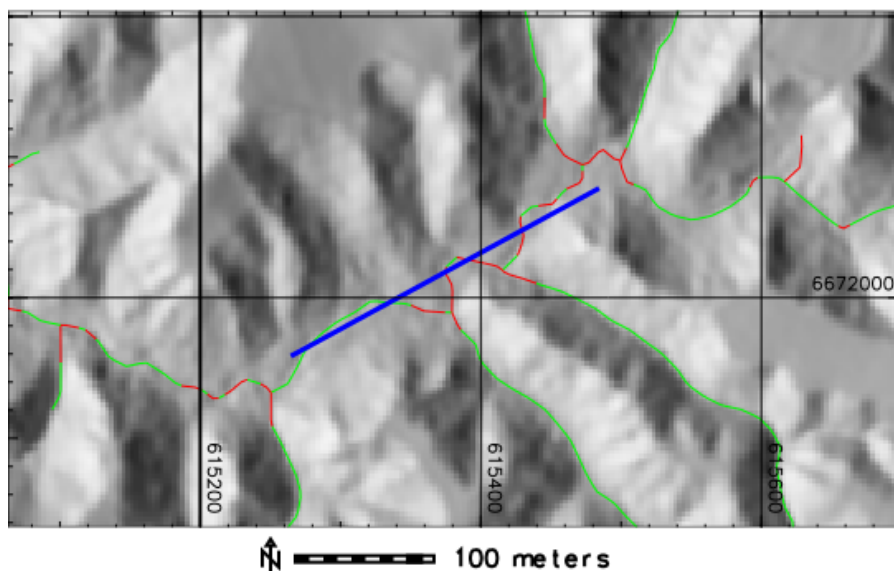
For å lage et kart som kan vise resultatet av en klassifisering settes det sammen et linjenettverk på bakgrunn av resultatet fra klassifiseringen. Hvis to eller flere profiler etter hverandre klassifiseres som ravineprofiler trekkes det en linje mellom de to, og linjen får egenskapsdata som sier at her er det en ravine, samt gjennomsnittlig bredde og dybde på profilene. Terrengprofiler som ikke klassifiseres som raviner trekkes det også linjer mellom, men de får ikke de samme egenskapsdataene.

## 4. Resultater

Først vil det vises resultater for hvordan kantdeteksjonen fungerer på de forskjellige datasettene. Deretter vises resultater fra de forskjellige klassifiseringsalgoritmene. For alle klassifiseringsalgoritmene var resultatene fra 3 og 5 meters terrengmodeller veldig like. Derfor vises kun en terrengmodell per studieområde for hver klassifiseringsalgoritme, men resten finnes i Appendix A.1

### 4.1 Kantdeteksjon

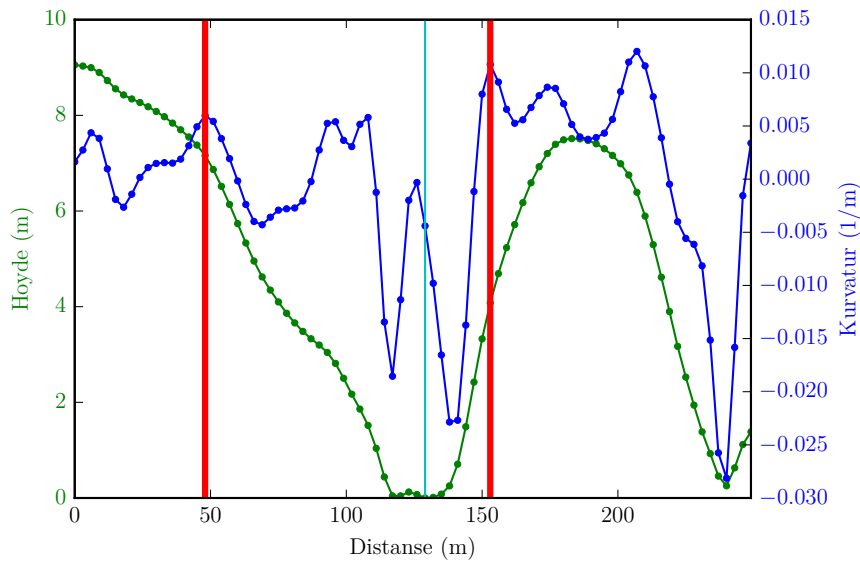
Kantdeteksjonen gjennomføres før klassifiseringen, og resultatene som går gjennom her vil derfor gjelde uavhengig av klassifiseringsalgoritme. Det er også observert at disse resultatene gjelder uavhengig av om 3 eller 5 meters terrengmodell benyttes.



**Figur 4.1:** Metoden har problemer der en eller flere raviner møtes. Resultat fra 3 meters terrengmodell over Gardermoenområdet.

Kantdeteksjonen vil ikke finne sidekanter der en ravine møter en eller flere andre raviner, rett og slett fordi det der ikke alltid finnes sidekanter, eller terrengprofilene treffer sidekantene i uheldige vinkler. En avrenningslinje slutter ikke der hvor sidekantene gradvis blir en del av et ravinesystem, og derfor vil det nær knutepunkter omtrent alltid være profillinjer som ikke

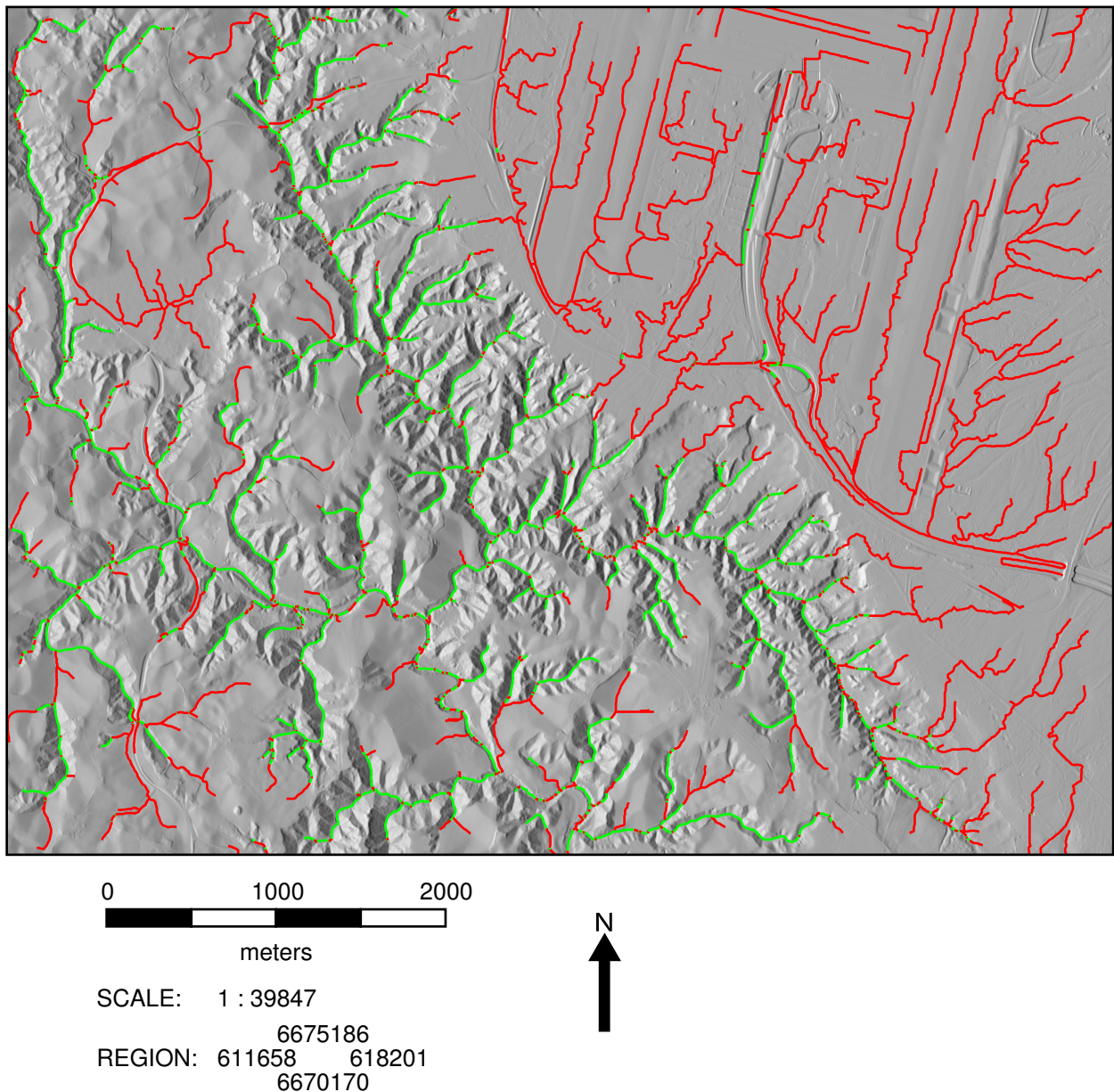
treffer sidekantene. I figur 4.1 vises et eksempel på dette, og det diskuteres i kapittel 5.5 hvordan ravinesystemer og knutepunktene kunne vært håndtert videre.



**Figur 4.2:** *Terrengprofil fra Kroer. Detekterte kanter er markert med røde vertikale linjer, bunnen av ravinen er markert med lyseblå vertikal linje. Figuren viser at kantdeteksjonsalgoritmen ikke fungerer optimalt når hellingen avtar midt i sidekantene. Kartet med profilen vises i figur A.12.*

Enkelte ganger finner ikke kantdeteksjonen det maksimalpunktet på kurvaturen som mest trolig er en kant selv om selve kanten er med i profilen. Som eksempel kan profilen i figur 4.2 betraktes. Om dette er en ravine eller ikke kan diskuteres, men det bør heller en klassifisering håndtere. I denne sammenhengen er det interessant hvorfor ikke høyre sidekant detekteres riktig. Når kantdeteksjonsalgoritmen ser på de forskjellige maksimalpunktene til kurvaturen er det en av egenskapene som kontrolleres at hellingen fra ravinens bunn til maksimalpunktet ikke må avta. Hvis hellingen avtar fra et maksimalpunkt til det neste, velges det første som kantpunkt. For å unngå dette kunne man vurdert flere fremgangsmåter; en terskelverdi for hvor mye hellingen har lov til å avta kunne blitt brukt, eller man kunne sett på hvor mye hellingen bør avta etter ravinens kant for å kunne godta punktet som kant. Som oftest avtar hellingen betraktelig ved ravinens kant; i figur 4.2 ser vi at hellingen avtar betraktelig mye mer etter andre maksimalpunkt, dermed er dette en egenskap som skiller dette maksimalpunktet fra de andre.

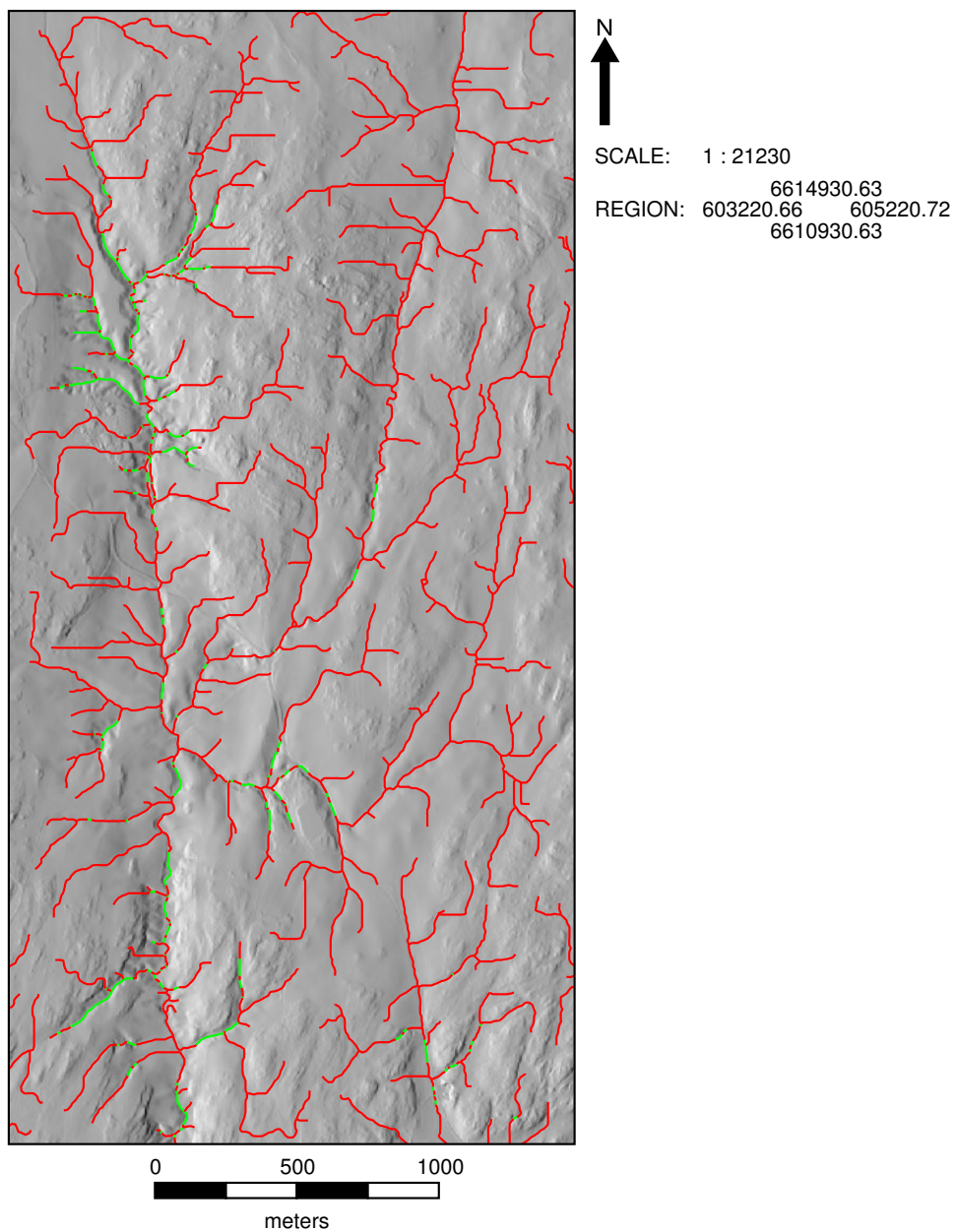
## 4.2 Klassifisering basert på helling til sidekant



**Figur 4.3:** Resultatet av klassifisering ved terskling på helling til sidekant på terrengmodell fra Gardermoenområdet med 3 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner.

Metoden fungerer bra på studieområdet ved Gardermoen (figur 4.3). Der er det mange bratte raviner, og disse vil detekteres når klassifiseringsalgoritmen kun terskler basert på en minimum hellingsverdi fra bunn til topp. I begge områdene blir enkelte avrenningslinjer som ligger i bebygde områder klassifisert som raviner. For å fjerne enkelte av disse kunne kanskje en høyere minimumshøyde enn 2 meter vært valgt.

Det er viktig å bemerke at denne klassifiseringsmetoden mer er en deteksjon av daler, enn

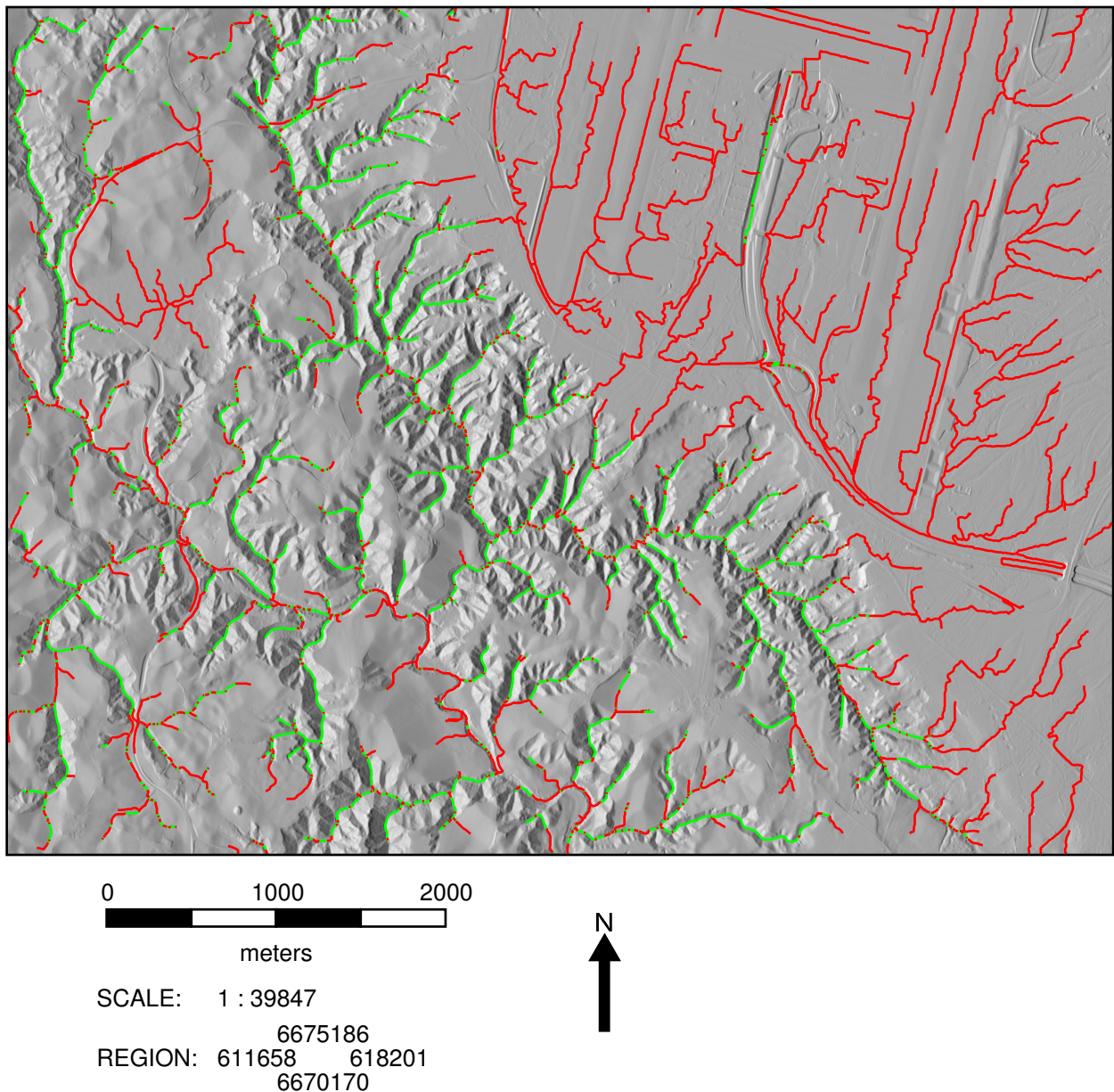


**Figur 4.4:** Resultatet av klassifisering ved terskling på helling til sidekant på terrengmodell fra Kroer med 5 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner.

raviner spesielt. Den benytter ikke selve profilverdiene for helling eller kurvatur, som kanskje kan skille for eksempel u-daler fra raviner.



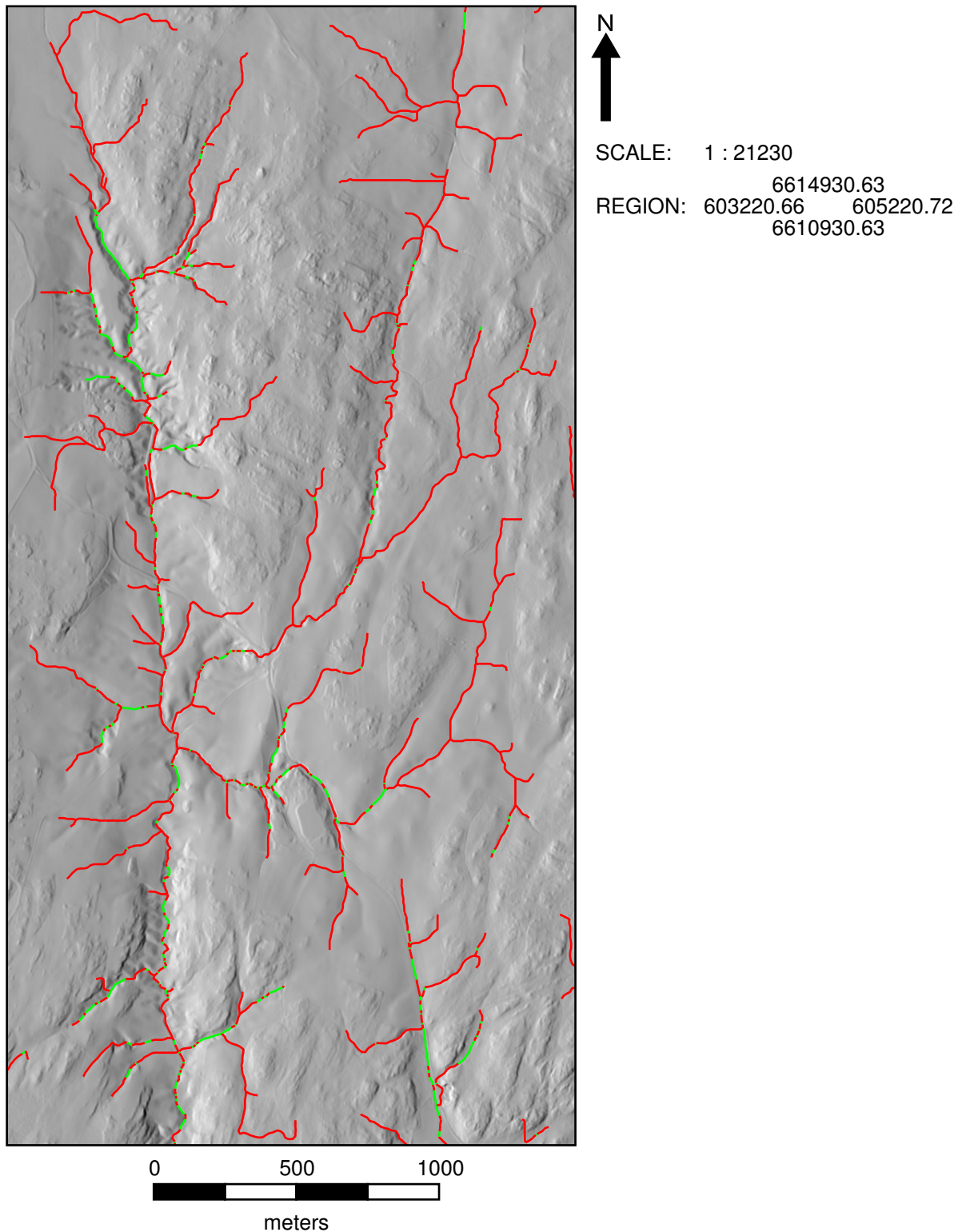
### 4.3 kNN-klassifisering med helling, kurvatur og høyde



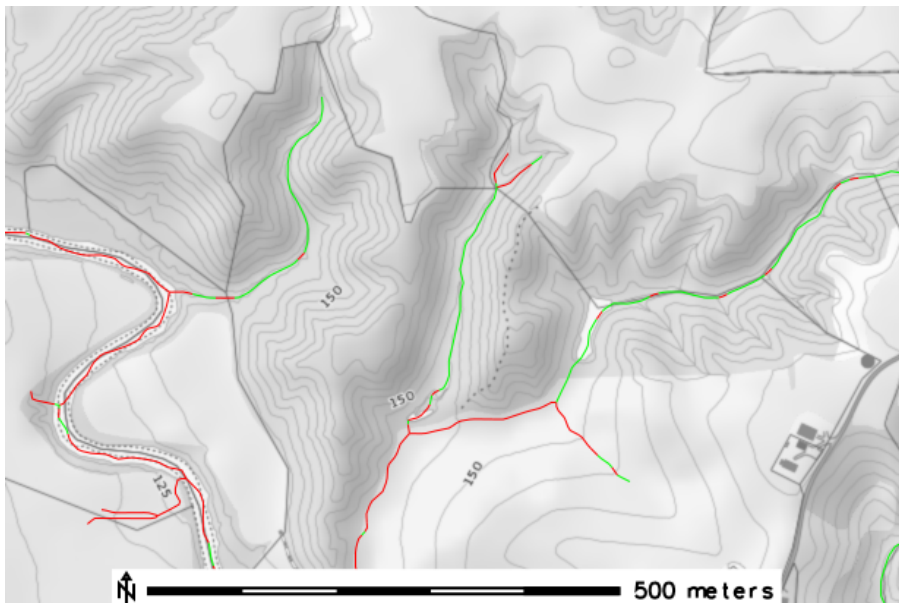
**Figur 4.5:** Resultatet av kNN-klassifisering med helling, kurvatur og høyde på terrenngmodell fra Gardermoenområdet med 3 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner.

Denne klassifiseringsmetoden skiller godt mellom små landskapsformer som ligner på raviner og selve ravinene. I figur 4.7 kan man se en elv som bukker seg mot vest, som ikke klassifiseres som en ravine, mens de tre ravinene tydelig klassifiseres som raviner.



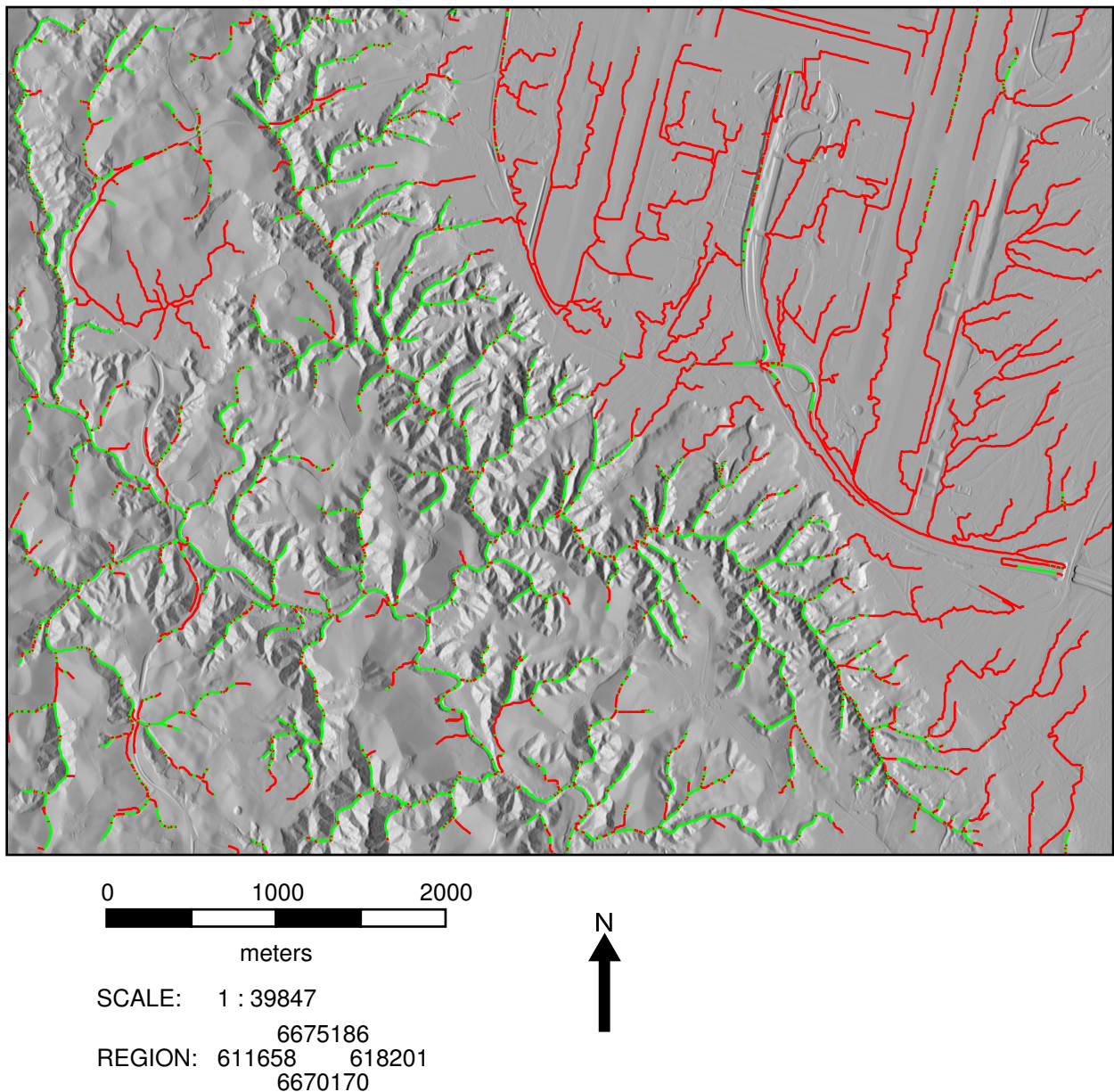


**Figur 4.6:** Resultatet av kNN-klassifisering med helling, kurvatur og høyde på terrenngmodell fra Kroer med 3 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner.



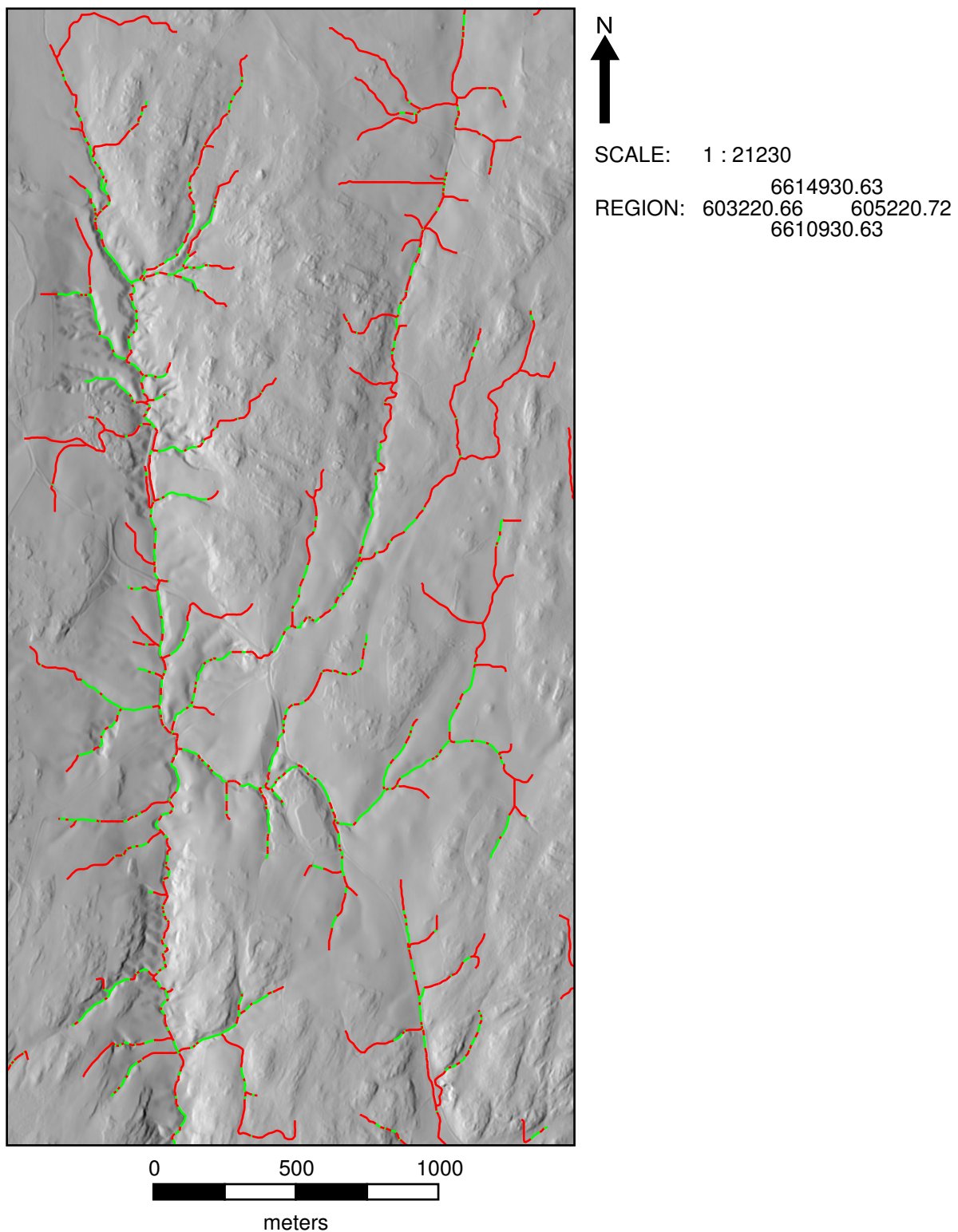
**Figur 4.7:** kNN-klassifiseringen basert på høyde, helling og kurvatur skiller godt mellom små landskapsformer som ligner på raviner, og raviner. Kart fra Gardermoenområdet, fra 3 meters terrengmodell. Bakgrunnskart fra Kartverket, (2016). Avgrensning: 6670878-6671512(S-N), 614167-615122(W-E)

## 4.4 kNN-klassifisering med normaliserte profilverdier



**Figur 4.8:** Resultatet av kNN-klassifisering med normalisert helling, kurvatur og høyde på terrengmodell fra Gardermoenområdet med 3 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner.

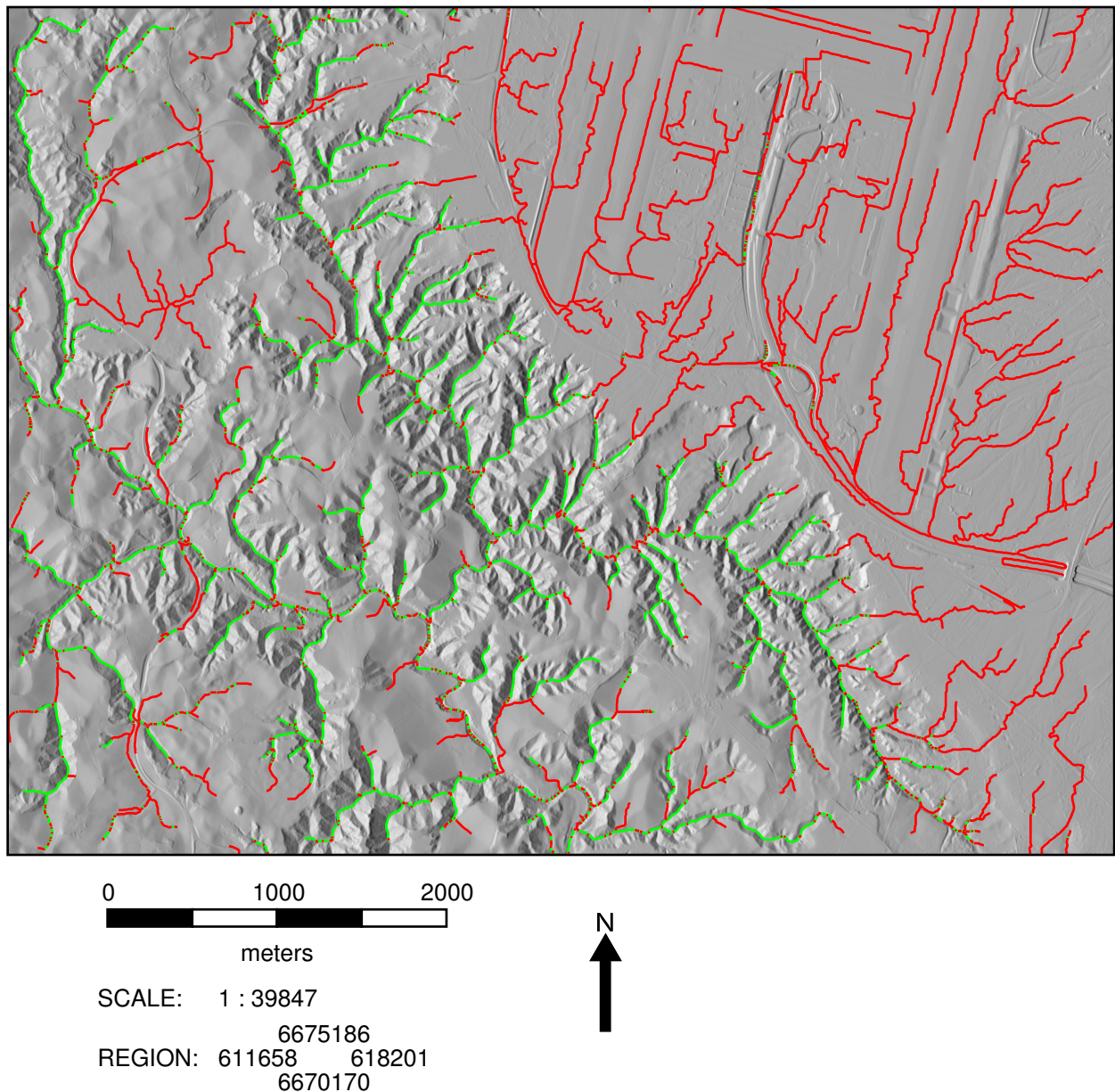
Spesielt for Kroerområdet ser man her en markant forskjell til de andre klassifiseringsmetodene. I Kroer er det mange små raviner, og disse detekteres bedre med normaliserte verdier. Treningsdatasettet inneholder heller ikke så mange små raviner, og normaliseringen kompenserer til en viss grad for dette.



**Figur 4.9:** Resultatet av kNN-klassifisering med normalisert helling, kurvatur og høyde på terrengmodell fra Kroer med 3 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner.

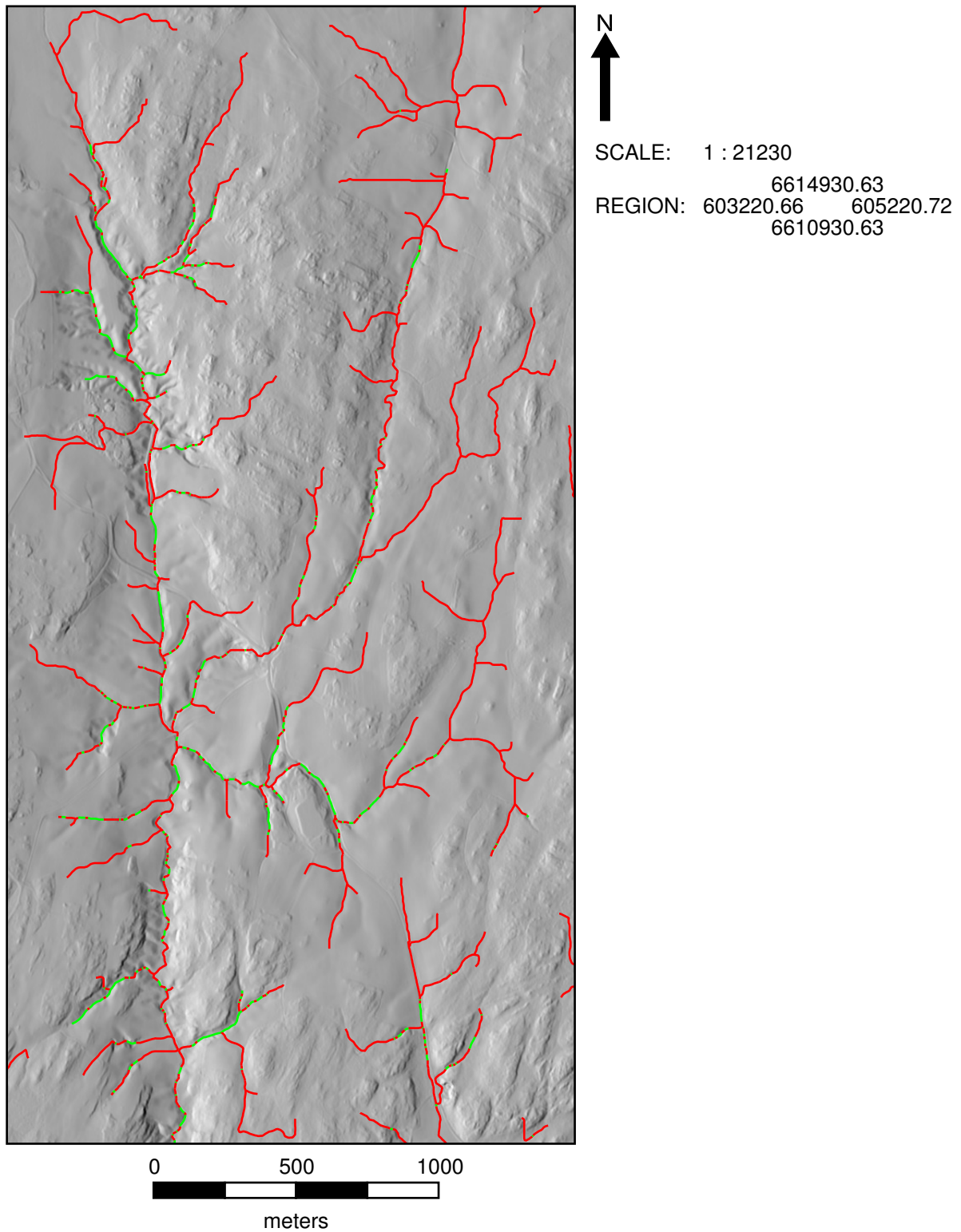


## 4.5 kNN-klassifisering ved bruk av intervaller



**Figur 4.10:** Resultatet av kNN-klassifisering med intervaller. Grønne linjer klassifisert som raviner.

Denne metoden fungerer resultatmessig som en slags mellomting mellom metoden med normaliserte verdier og de andre. For Kroerområdet detekteres enkelte raviner, som ikke detekteres med metodene uten normaliserte verdier. Ser man på flyplassområdet i figur 4.10 ser man at dette er den av metodene som best unngår å klassifisere terrengprofiler på flyplassen som raviner.



**Figur 4.11:** Resultatet av kNN-klassifisering med intervaller. Grønne linjer klassifisert som raviner.

## 5. Diskusjon

### 5.1 Bruk av løsmassekart

En fundamental forutsetning for at det skal kunne dannes raviner et sted, er at det finnes marine leirer, bresjømateriale eller morener der. Sett i sammenheng med metoden presentert i denne oppgaven, kunne for eksempel alle linjer i avrenningsnettverket som ikke ligger i områder med de nevnte løsmassene blitt klippet vekk. Denne klippeprosessen bør gjøres så tidlig som mulig i deteksjonsprosessen for å slippe og klassifisere terrengprofiler som uansett ikke er raviner. I denne oppgaven ble det desverre ikke tid til å implementere en slik klippeprosess. Hovedfokuset ble på uthenting og håndtering av terrengprofiler.

NGU (Norges Geologiske Undersøkelse) har løsmassedata tilgjengelig som kunne vært brukt i en slik prosess.

### 5.2 Vurdering av klassifiseringsmetodene

Alle de presenterte klassifiseringsmetodene har ulike egenskaper, men er vanskelige å validere. Metoden med bruk av helling fra bunn til topp fungerer ok, så lenge man vet hvilken hellingsverdi man kan terskle på, og så lenge det ikke finnes større daler som også kan falle inn under klassifiseringen som raviner. KNN-klassifiseringen med bruk av høyde, helling og kurvatur direkte fra terrengmodellen vil fungere bra så lenge treningsdatasettet inneholder nok data over raviner med ulik utstrekning og dybde. Er ikke det tilfellet, vil trolig en klassifiseringsalgoritme som bruker normaliserte data fungere bedre. Som beskrevet i 5.1 er resultatene imidlertid ikke kontrollert opp mot løsmassekart, og ved sammenligning av resultatet fra den normaliserte kNN-klassifiseringen og kart, ser man blant annet at noen av de detekterte ravinene ligger tett inntil bebygde områder. For eksempel store grøftekanter kan bli detektert.

Metoden med bruk av intervaller, ser mer på terrengprofilens sammensetning av ulike verdier. Den tar ikke hensyn til i hvilken rekkefølge verdiene ligger på terrengprofilen, og ville dermed ha klassifisert en “omvendt” profil som ravine.

Det blir i denne oppgaven ikke testet hvordan de ulike klassifiseringsmetodene fungerer sammen. En mulighet kunne for eksempel vært å først terskle på en minimum hellingsverdi, for så å utføre en normalisert kNN-klassifisering.

## 5.3 Valg av studieområder

De to studieområdene som brukes i denne oppgaven har spesielt en mangel som gjør det vanskelig å verifisere resultatene av metoden. Det finnes ingen større daler som ikke er raviner, og det vites derfor ikke hva slags resultater metoden hadde produsert da. Klassifiseringsalgoritmen som bruker helling fra bunn til kant vil trolig klassifisere større daler som raviner. Det kan hende det samme er tilfellet for de andre klassifiseringsalgoritmene.

## 5.4 Terskling under beregning av avrenningsnettverk

Ved å terskle bort verdier fra et avrenningsnettverk, kan man risikere å fjerne objekter som egentlig er verdifulle videre i metoden.

Oppløsningen på datasettet spiller inn på hvilken terskelverdi som bør velges. En avrenningslinje på 100 meter, som spennes ut av 100 celler (hvis en terrengmodell med 1 meters oppløsning er brukt), vil ha en akkumuleringsverdi i enden av linjen på minimum 99.<sup>1</sup> Er derimot en terrengmodell med 10 meters oppløsning brukt, vil akkumuleringsverdien i enden være minimum 9. Med andre ord må høyere terskelverdier brukes for datasett med høyere oppløsning for å terskle fram de samme linjene. For en algoritme kan det kanskje være mulig å automatisk finne en terskelverdi basert på oppløsningen i datasettet, men det ble ikke brukt tid på å finne en slik metode her.

I denne oppgaven ble det valgt en terskelverdi på 2500 for 3 meters terrengmodell, og 250 for 5 meters terrengmodell. Dette valget ble tatt uten noen store sammenligninger av ulike tersklingsnivå, og en komplett sammenligning av hele metoden i forhold til forskjellige tersklingsnivåer har heller ikke blitt utført. Det kunne vært interessant med en sammenligning for å se hvor mange raviner som mistes hvis man velger for høye tersklingsnivåer.

For å finne en fornuftig terskelverdi kunne en mulig fremgangsmåte være å isolere en ravine (lage en liten terrengmodell med kun én ravine i), og finne et tersklingsnivå som terskler bort alt annet enn avrenningslinjen gjennom ravinen. Denne terskelverdien burde da kunne brukes på også større datasett uten fare for å miste noen raviner.

Skal man se på et stort område vil det være av avgjørende betydning for tidsbruken til algoritmen at man har valgt et så høyt tersklingsnivå som mulig uten risiko for å miste noen raviner.

## 5.5 Deteksjon av hele raviner og ravinesystemer

Som beskrevet i 3.3.6 tar ikke metoden som lager selve resultatkartet hensyn til hvor stor andel terrengprofiler på den aktuelle avrenningslinjen som er blitt klassifisert som ravineprofiler. Det eneste kravet den har, er at det må være minst to terrengprofiler etter hverandre som begge klassifiseres som ravineprofiler for at det skal tegnes en ravinelinje, og for at egenskapsdata fra profilene skal lagres i linjen. Dette er ikke på noen måte en optimal løsning på håndteringen av informasjon fra klassifiseringen, og kan sikkert løses på mange andre måter som bedre kan ta en vurdering på hvorvidt hele avrenningslinjen ligger i en ravine eller ikke.

---

<sup>1</sup>Hvis hver celle legger til verdien 1 på akkumuleringsverdien.



Et eksempel kunne vært å se på alle avrenningslinjens terrengprofiler, og undersøke hvor stor andel av dem som klassifiseres som ravineprofiler. Hvis denne andelen er stor nok, kan hele linjen klassifiseres som en ravine.

Metoden i denne oppgaven tar heller ikke hensyn til hvorvidt avrenningslinjene er en del av et større ravinesystem eller ikke. Som illustrert i figur 4.1 vil det i nærheten av knutepunktene i avrenningsnettverket ofte være at terrengprofilene ikke treffer noen sidekanter, og de vil derfor heller ikke klassifiseres som ravineprofiler. Dette kunne trolig vært håndtert på flere ulike måter. Hvis to avrenningslinjer med felles knutepunkt ble klassifisert som raviner kunne man sammenlignet akkumuleringsverdiene i avrenningsnettverket for å klassifisere dem som sideraviner eller hovedravine. Deretter kunne man akkurat i knutepunktet sett bort fra terrengprofiler som ikke ble klassifisert som ravineprofiler.

Det hender også at en avrenningslinje har et knutepunkt uten at det finnes noen store sideraviner ut fra knutepunktet. Da kunne også akkumuleringsverdien vært brukt for å *slå sammen* avrenningslinjene. Hvis en av avrenningslinjene har akkumuleringsverdier som er marginalt større enn den andre, og begge to er blitt klassifisert som raviner, er de trolig en del av samme ravine.

## 5.6 Bruk av sannsynlighetsverdi under klassifisering

Klassifiseringen i denne oppgaven gjøres av en klassifiseringsfunksjon som mottar profilinformasjon og returnerer en boolsk verdi for om profilen trolig ligger i en ravine eller ikke. En forbedring av dette konseptet kunne heller vært å returnere en sannsynlighetsverdi på bakgrunn av klassifiseringen. Denne sannsynlighetsverdien kunne deretter blitt brukt videre i metoden, for å gi hver linje i avrenningsnettverket en egenskap som sier hvor sannsynlig det er at linjen er en ravine.

## 5.7 Klassifisering av kun sidekantene

Profilen i figur 4.2 viser en svakhet som kanskje kan utgjøre en forskjell i klassifiseringen. Terrengprofilen har et flatt område i bunnen. Enkelte raviner har gjerne erodert seg ned til erosjonsbasis; det vil si at ravinen ikke vil bli noe dypere fordi den for eksempel har gravd seg ned til et annet sedimentlag uten de samme erosjonsegenskapene. Det vil allikevel være grunnlag for videre erosjon i sidekantene. For å unngå at klassifiseringen må ta hensyn til om ravinen har nådd erosjonsbasis eller ikke, kunne man kuttet sidekantene ved minimumspunktene til kurvaturen, og sendt hver sidekant til klassifisering for seg.

Andre geomorfologiske metoder for deteksjon av landskapsformer skiller gjerne mellom vanlige daler og “filled up valleys” — daler som har et flatt område i bunnen (Robert, 2015). Det kan også tenkes at man på samme måte kunne delt inn raviner i ulike klasser — de som har nådd erosjonsbasis, og de som ikke har det.

## 5.8 Annen avstand mellom profillinjene

I denne metoden ble det brukt en avstand på 5 meter mellom profillinjene, uavhengig av oppløsning. Å minke denne avstanden vil trolig øke detaljgraden når selve resultatkartet skal konstrueres, fordi man vil få mer informasjon å bruke når man må ta stilling til om selve avrenningslinjen er en ravine eller ikke. Selv om avstanden hadde vært kortere enn oppløsningen i datasettet, ville trolig de fleste terrengprofilene vært ulike fordi avrenningslinjene hele veien har små endringer i retningen, selv etter de er glattet.

## 5.9 Valg av linjeglattingsmetode

I 3.3.2 presenteres de to glattingsmetodene som ble vurdert. Etter å ha observert at *Snakes* ofte kuttet hjørnene ble det tatt et valg om å heller bruke den mer forutsigbare *Hermite*-algoritmen. *Snakes* har imidlertid noen fordeler som kanskje overveier svakheten; i og med at algoritmen minimerer linjens “energi”, vil profillinjene som trekkes ut fra et avrenningsnettverk glattet med snakes i mindre grad krysse hverandre. Ved bruk av en lav terskelverdi vil heller ikke problemet med kutting av hjørner være veldig stort. For å unngå problemet med kutting av hjørner kunne man kanskje vurdert å fortykke tettheten av punkt de kritiske stedene.

Bruken av den eller andre glattingsmetoden er lite trolig avgjørende for resultatet av denne metoden, men en videre undersøkelse av forskjellen på de to glattingsalgoritmene kunne vært interessant. Trolig vil man i hvert fall få en bedre spredning på profilene ved bruk av snakes.

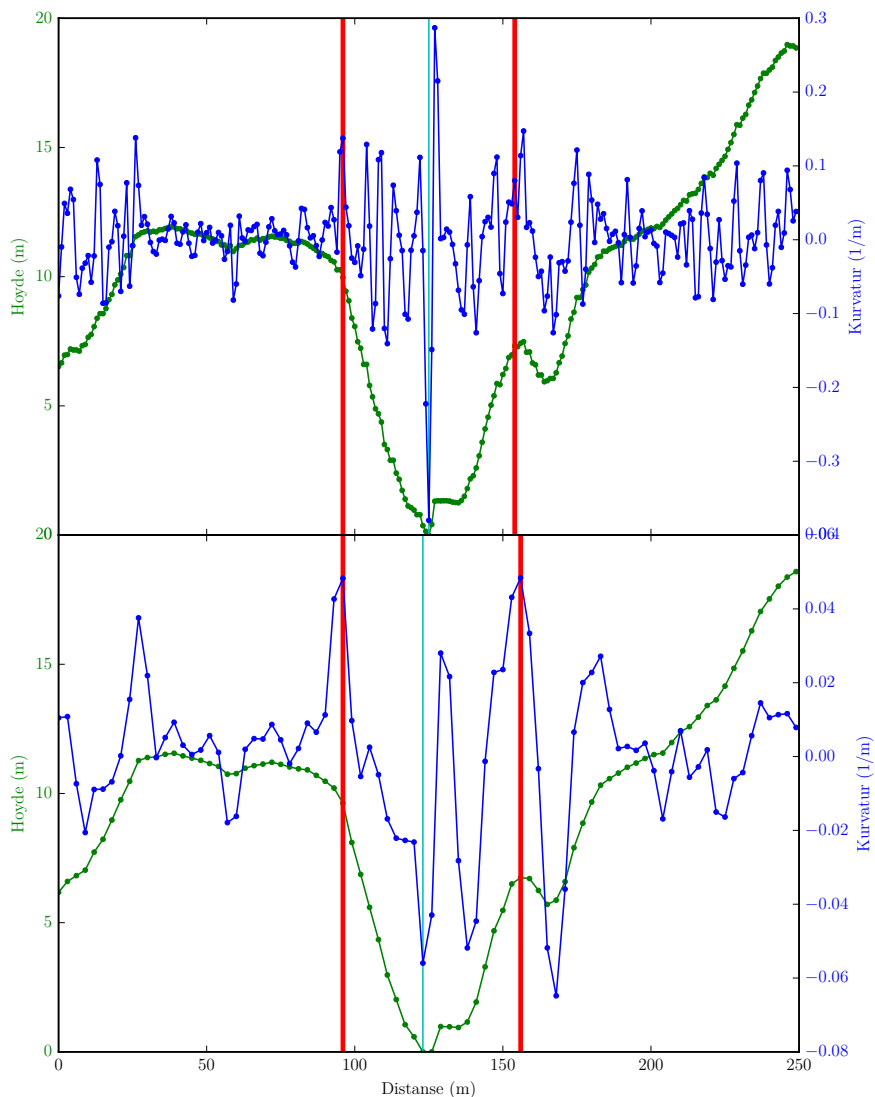
## 5.10 Bruk av terrengmodell med lavere oppløsning

I denne oppgaven ble det kun brukt datasett med 3 og 5 meters oppløsning. Sammenligner man resultatkartene fra terrengmodellene med ulik oppløsning er de veldig like. Det hadde vært interessant å se hvordan metoden hadde fungert på en terrengmodell med 10 meters oppløsning. I og med at lavere oppløsning er en slags glatting i seg selv hadde trolig behovet for glatting av profilverdiene som brukes under kantdeteksjonen vært mindre eller ikke-eksisterende.

## 5.11 Bruk av terrengmodell med høyere oppløsning

Det ble undersøkt hvordan en 1 meters oppløsning fungerte i et område der det var tilstrekkelig tetthet i laserdataene, men gevinsten av bedre oppløsning ble vurdert til å være for liten til at det kunne veie opp for lengre prosesseringstid og behov for mer glatting. I figur 5.1 vises to terrengprofiler med 1 og 3 meters oppløsning.

Som man kan se i figur A.9 og A.10 hadde de tilgjengelige laserdataene heller ikke god nok tetthet i bakkepunktene til at det vil være et stort poeng å konstruere terrengmodeller med 1 meters oppløsning. Dette er trolig grunnet stor skogstetthet i studieområdene.



**Figur 5.1:** Sammenligning av terrengprofil fra terrengmodell med 1 meters oppløsning (øverst) og 3 meters oppløsning (nederst). I dette tilfellet blir kantene detektert på omtrent samme sted, mens bunnen av ravinen (lys blå strek) er mer nøyaktig detektert fra terrengmodellen med 1 meters oppløsning. Her er det ikke påført noe glatting annet enn under konstruksjonen av terrengmodellen (se A.2), og selv om det i dette tilfellet ikke utgjør noen stor forskjell i forhold til detekterte kanter, vil det være et mye større behov for glatting når 1 meters datasettet benyttes fordi kurvaturen påvirkes mye av små endringer i høyde. Å bruke en terrengmodell med lavere oppløsning er i seg selv en form for glatting. Kart med terrengprofilen vises i figur A.13

## 5.12 Symmetri

Klassifiseringen av terrengprofilene gjøres i denne oppgaven separat for hver sideprofil. For at en terrengprofil skal klassifiseres som en ravine må derfor begge sideprofilene klassifiseres som ravineprofiler. Det har ikke blitt testet ut hvordan en klassifisering hadde fungert for en komplett profil — fra kant til kant.

Noe av bakgrunnen for at det ble tatt et valg om å splitte profilene i to ligger i kantdetek-

sjonen. For å finne et maksimalpunkt på kurvaturen som ligger nær kanten av ravinen må det søkes utover fra bunnen.

Det ble også observert at det i Kroer-området finnes raviner som har relativt forskjellig helling fra fra den ene siden til andre. Tanken ved å splitte profilene i to var at man ville unngå at en slik forskjellig helling skulle påvirke resultatene.

## 5.13 Annen beregning av profillinjer

I denne metoden ble det skrevet en egen funksjon for beregning av profillinjer vinkelrett på en linje. Det finnes imidlertid en noe mer avansert tilleggsmodul for dette i grass<sup>2</sup> som også kan beregne linjer vinkelrett på linjens trend. I noen tilfeller vil trolig det være en bedre løsning enn å beregne profillinjene vinkelrett på selve linjen. Enkelte steder er ikke avrenningsnettverket glattet nok, eller det oppstår små skarpe vinkler i avrenningsnettverket som gjør at profillinjene ikke treffer ravinekantene. En bedre generalisering av avrenningsnettverket kunne kanskje vært med på å fjerne disse problemene, men beregning av profillinjene basert på linjens trend ville trolig også redusert problemet.

## 5.14 Normalisering av profilverdiene

For mye eller ufornuftig normalisering kan fjerne de karakteristikkene som trengs for å skille ravinene fra ikke-raviner. Den normaliserte klassifiseringsmetoden presentert i 3.3.5 normaliserer både høyde, helling og kurvature. Det er en mulighet for at nødvendig karakteristika da fjernes. En nærmere sammenligning av de normaliserte og ikke-normaliserte terrengvariablene har ikke blitt gjort i denne oppgaven, men burde vært gjort for å undersøke hvordan normaliseringen påvirker verdiene. Det kan for eksempel hende at det gir mer mening å normalisere kurvaturen med minimumsverdien, som alltid vil ligge i bunnen av ravinen.

## 5.15 Hastighet på Python-modulen

Under profilering av Python-modulen som ble utviklet i forbindelse med denne oppgaven ble det observert at mer enn 95 % av tidsbruken ble brukt av grass modul `r.profile`, som brukes til å hente ut rasterverdier fra terrengmodellen til profillinjene.

Hvis man som beskrevet i 5.1 fjerner de delene av avrenningsnettverket som ikke ligger i områder med marine løsmasser vil man allerede ha senket antallet terrengprofiler som må hentes fra terrengmodellen. Som beskrevet i 5.4 vil også et optimalt terskelnivå kunne minke antall mulige terrengprofiler.

Man kunne selvsagt også senket tidsbruken ved å øke avstanden mellom terrengprofilene. En økning fra 5 til 10 meter ville halvert antall terrengprofiler, og dermed tilnærmet halvert tidsbruken. Det største tidstapet programmeringsmessig ligger nok allikevel i at `r.profile` leser terrengmodellen fra disk hver gang den kjøres. Å lagre hele eller deler av terrengmodellen i minnet, i stedet for på disk, vil trolig senke metodens tidsbruk betraktelig.

---

<sup>2</sup><https://grass.osgeo.org/grass70/manuals/addons/v.transects.html>

## 5.16 Lignende arbeid

Robert, (2015) presenterer i sin masteroppgave en metode for automatisk deteksjon av daler. Den benytter *black top-hat filtering* for å trekke ut omrisset av dalene. Ved hjelp av omrissenes *skeletons* deles de opp til ulike objekter, og hvert objekt klassifiseres ut fra andelene kurvatur- og hellingspiksler innenfor gitte intervaller. Under arbeidet med denne masteroppgaven ble hans metode testet, men på grunn av manglende tid og relevante treningsdata ble ikke disse forsøkene tatt med her. Det ble allikevel observert at metoden egner seg godt til å finne selve omrisset av ravinene.

## 6. Konklusjon

Raviner graves ut av bekk eller elv i finkornede løsmasser. Så lenge det benyttes en terrengmodell med god nok oppløsning og nøyaktighet, vil et avrenningsnettverk derfor alltid følge bunnen i en ravine. Metoden presentert i denne oppgaven viser at man kan trekke ut terrengprofiler som står vinkelrett på et avrenningsnettverk, og at terrengprofilene vil krysse en eventuell ravine på tvers.

Videre vises det at man ved hjelp av terrengets kurvatur i de fleste tilfeller kan detektere hvor på terrengprofilen en eventuell ravines kanter ligger. Det er deretter mulig å kutte terrengprofilen etter det som trolig er kantene.

I oppgaven testes ulike metoder for å gjenkjenne raviner fra de kuttete terrengprofilene. Det vises at de alle sammen har litt ulike egenskaper, og at metodene som ikke bruker normaliserte data, trolig er mer avhengige av et godt treningsdatasett, enn de som normaliserer dataene før klassifiseringen.

Oppgaven har i sin helhet vist at en automatisk deteksjon av raviner bør være mulig. Av videre arbeid ville det viktigste vært å inkludere løsmassedata i beregningene.



# Bibliografi

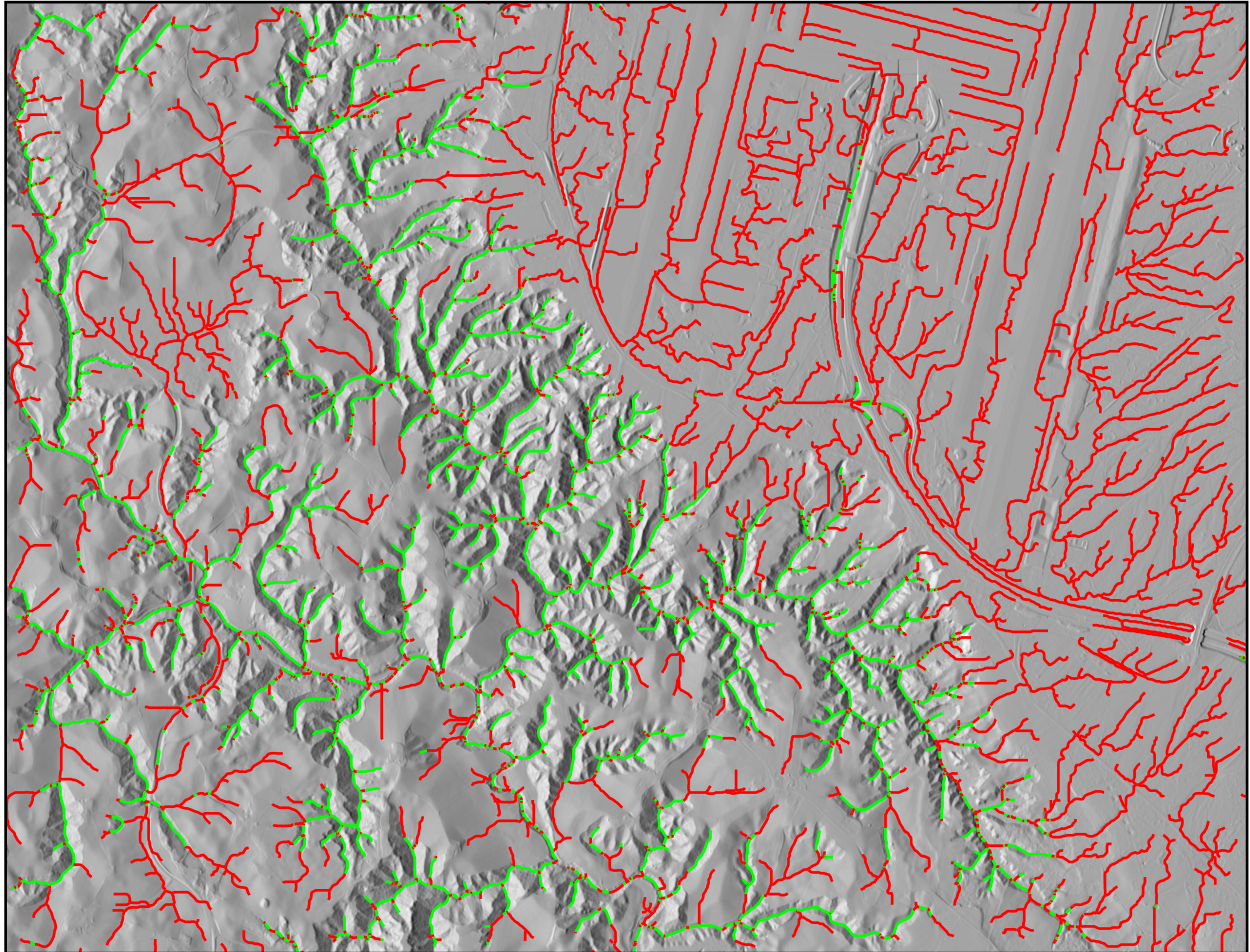
- Bundala, D., W. Bergenheim og M. Metz (2016). *GRASS GIS 7.0 Reference Manual, v.generalize*. Dokumentasjon. URL: <https://grass.osgeo.org/grass70/manuals/v.generalize.html> (sjekket 10.05.2016).
- Cayley, A (1859). “On contour and slope lines”. I: *Philosophical Magazine XVIII*, s. 264–268. URL: <http://www.maths.ed.ac.uk/~aar/surgery/cayley.pdf> (sjekket 14.04.2016).
- Erikstad, L. (1992). “Recent changes in the landscape of the marine clays, Østfold, southeast Norway”. I: *Norsk geogr. Tidsskr* 46. Oslo, s. 19–28. ISSN: 0029-1951.
- Erikstad, L. og V. Bakkestuen (2011). “Fjell, berg, rasmark og annen grunnlendt mark”. I: *Norsk rødliste for naturtyper 2011*. Red. av A. Lindgaard og S. Henriksen. Artsdatabanken, Trondheim. ISBN: 978-82-92838-29-7.
- Erikstad, L. og H. Borch (2015). *Vannmiljøtiltak i raviner - muligheter og utfordringer*. NIBIO rapport 1/31/2015. Versjon 1. NIBIO, s. 6. 26 s.
- Forsyth, D. A. (2002). *Computer Vision: A Modern Approach*. 1. utg. Prentice Hall Professional Technical Reference, s. 185. ISBN: 9780130851987.
- GRASS Development Team (2016). *Grass GIS - Home*. URL: <https://grass.osgeo.org/> (sjekket 05.05.2016).
- Hengl, T. og H.I. Reuter, red. (2008). *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Bd. 33. Amsterdam: Elsevier.
- Jansson, U. og L. Erikstad (2014). *Faktaarkutkast for naturtypen Ravinedal*. Miljødirektoratet. URL: <https://www.dropbox.com/sh/gi0u9i9c6s78kqs/AAALyhxgV9ai60lWRN1T0701a/Geotoper%202014.pdf?dl=0> (sjekket 14.04.2016).
- Jansson, U. og A. E. Laugsand (2014). *Ravinekartlegging i Nannestad kommune 2013*. BioFokus rapport 2014-5. Oslo: Stiftelsen BioFokus.
- Jenson, S. K. og J. O. Domingue (1988). “Extracting topographic structure from digital elevation data for geographical information system analysis”. I: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54.11, s. 1593–1600.
- Kartverket (2016). *wms.topo2.graatoe*. URL: <http://openwms.statkart.no/skwms1/wms.topo2.graatoe?> (sjekket 09.05.2016).
- Pike, J. R (2000). “Geomorphometry – diversity in quantitative surface analysis”. I: *Progress in Physical Geography* 24, 1. URL: <http://ppg.sagepub.com/content/24/1/1.full.pdf+html> (sjekket 15.04.2016).
- Python Software Foundation (2016). *The Python Tutorial*. Dokumentasjon. URL: <https://docs.python.org/2/tutorial/index.html> (sjekket 05.05.2016).



- Robert, Nagy (2015). “Automatic detection of valley forms”. Master. Oslo: Department of Geosciences, Faculty of Mathematics og Natural Sciences, University of Oslo. URL: <https://www.duo.uio.no/handle/10852/47643?locale-attribute=no> (sjekket 05.04.2016).
- Scikit-learn developers (2014). *Nearest Neighbors*. Dokumentasjon. URL: <http://scikit-learn.org/stable/modules/neighbors.html> (sjekket 12.05.2016).
- Shapiro, M. og O. Waupotitsch (2015). *GRASS GIS 7.0 Reference Manual, r.slope.aspect*. Dokumentasjon. URL: <https://grass.osgeo.org/grass70/manuals/r.slope.aspect.html> (sjekket 08.05.2016).
- Shary, P. A., L. S. Sharaya og A. V. Mitusov (2002). “Fundamental quantitative methods of land surface analysis”. I: *Geoderma* 107, s. 1–32. URL: [ftp://ftp.ecn.purdue.edu/jshan/curvature/Shary\\_Fundamental\\_quantative\\_2002.pdf](ftp://ftp.ecn.purdue.edu/jshan/curvature/Shary_Fundamental_quantative_2002.pdf) (sjekket 15.04.2016).
- SNL, red. (2009). *Geomorfologi*. URL: <https://snl.no/geomorfologi> (sjekket 14.04.2016).
- Zevenbergen, L. W. og C. R. Thorne (1987). “Quantitative analysis of land surface topography”. I: *Earth surface processes and landforms* 12, s. 47–56. URL: [http://solim.geography.wisc.edu/axing/teaching/geog579/lectures/references/ZevenbergenAndThorne\\_DigitalTerrain\\_EarthSurfaceProcesses1987.pdf](http://solim.geography.wisc.edu/axing/teaching/geog579/lectures/references/ZevenbergenAndThorne_DigitalTerrain_EarthSurfaceProcesses1987.pdf) (sjekket 15.04.2016).

# A. Appendix

## A.1 Resultatkart



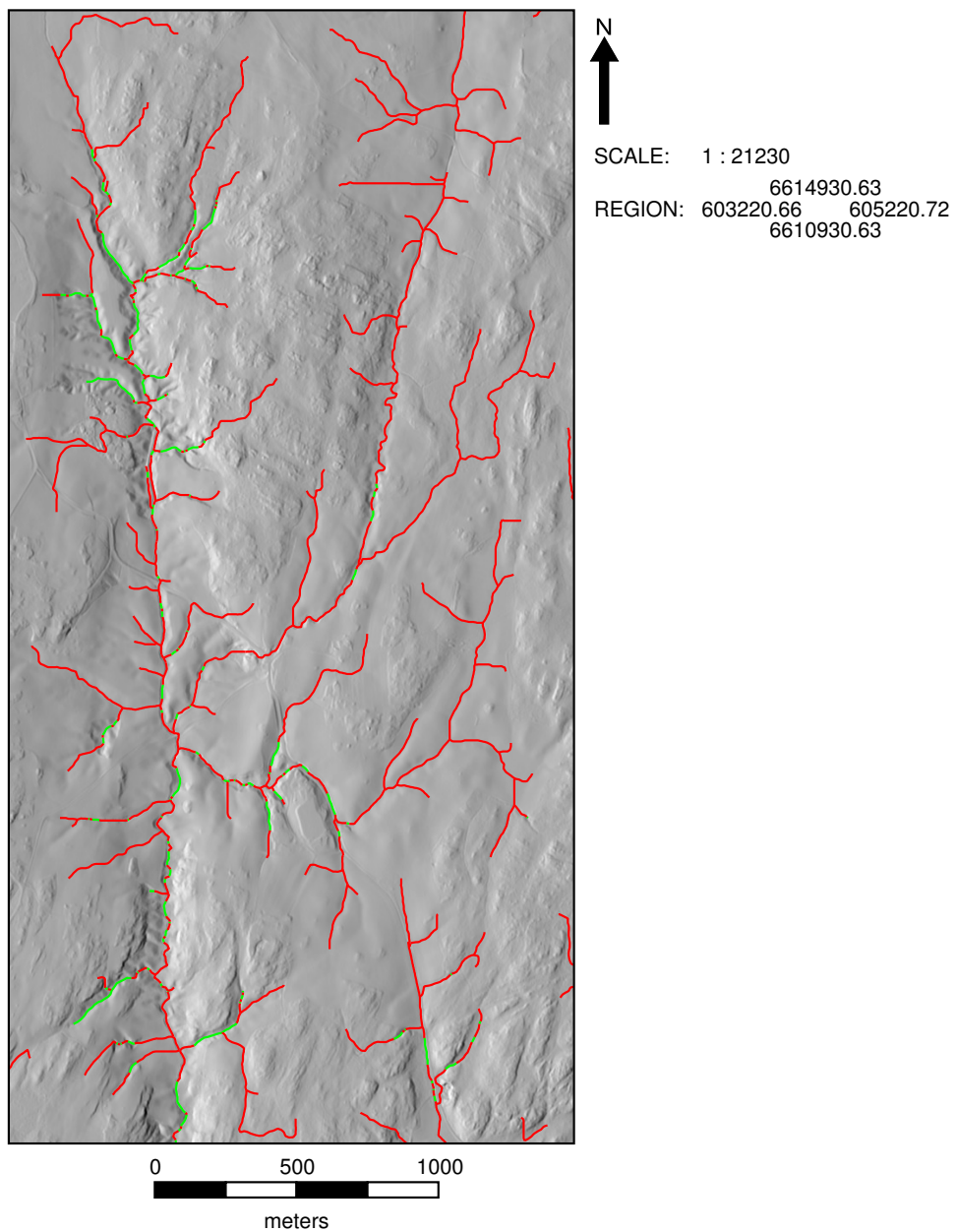
0                      1000                      2000  
meters



SCALE: 1 : 39847

REGION:                      6675186  
                                  611658                      618201  
                                  6670170

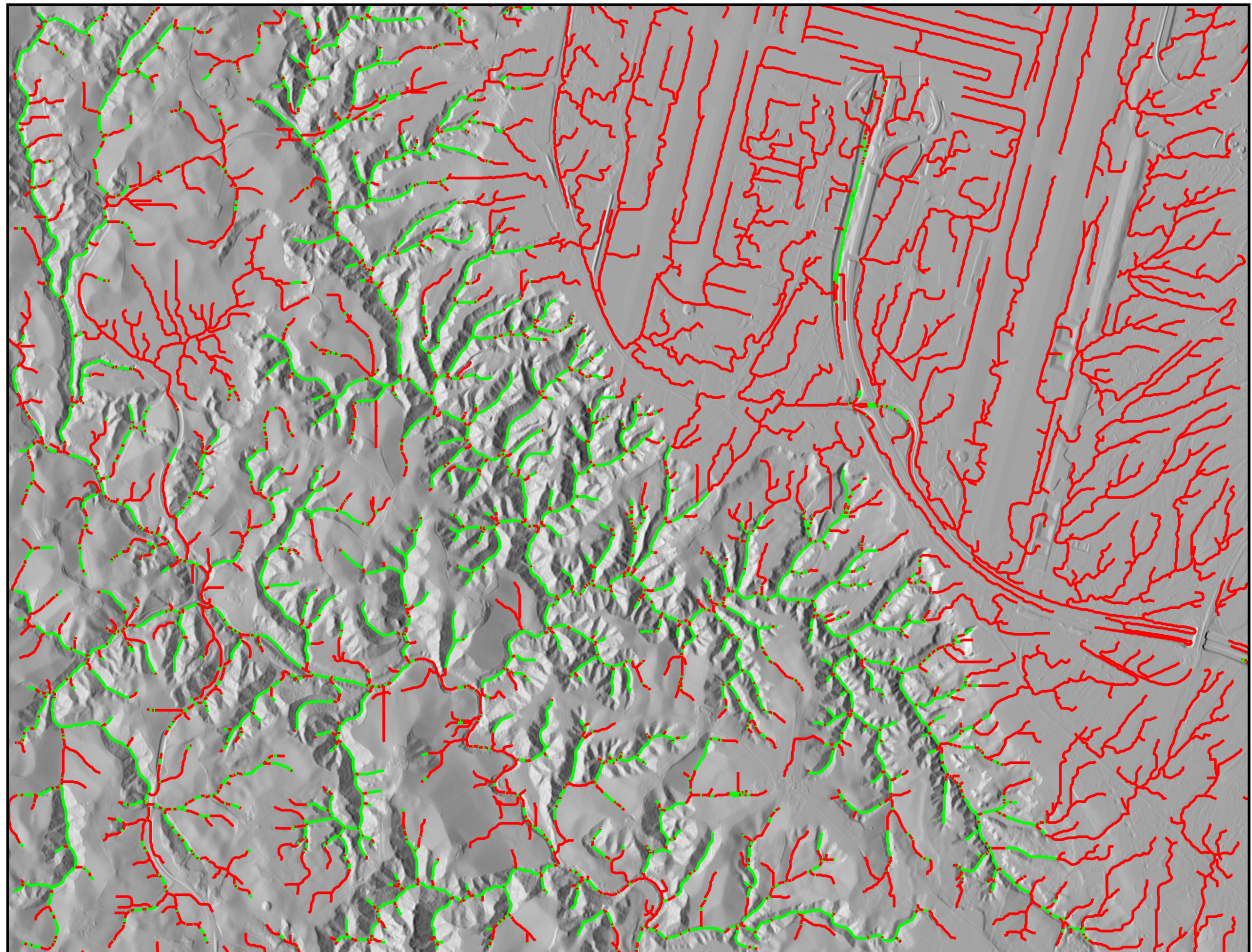
**Figur A.1:** Resultatet av klassifisering ved terskling på helling til sidekant på terrenngmodell fra Gardermoen med 5 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner.



**Figur A.2:** Resultatet av klassifisering ved terskling på helling til sidekant på terrengmodell fra Kroer med 3 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner.



Kroer



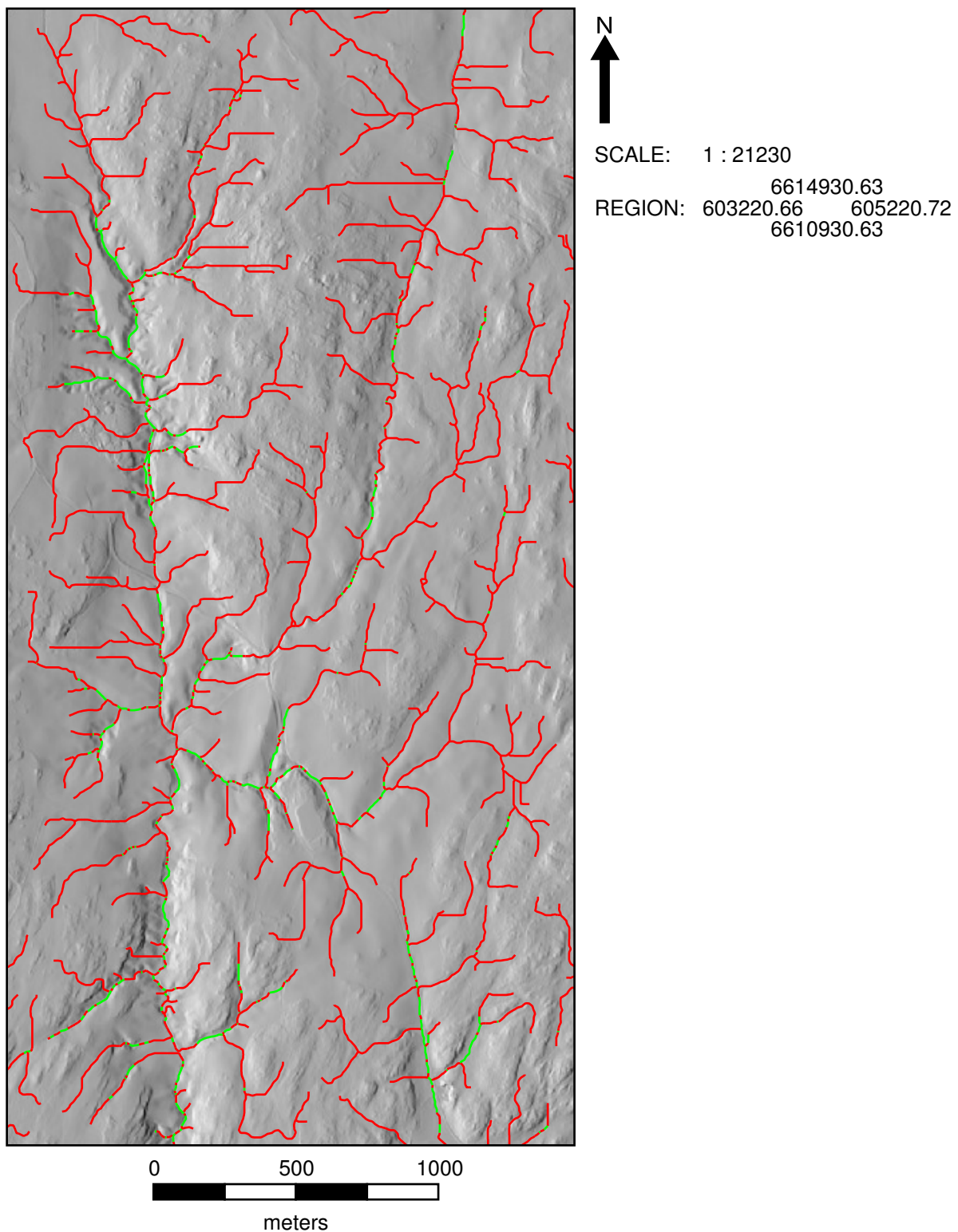
0 1000 2000  
meters

SCALE: 1 : 39847

6675186  
REGION: 611658 618201  
6670170

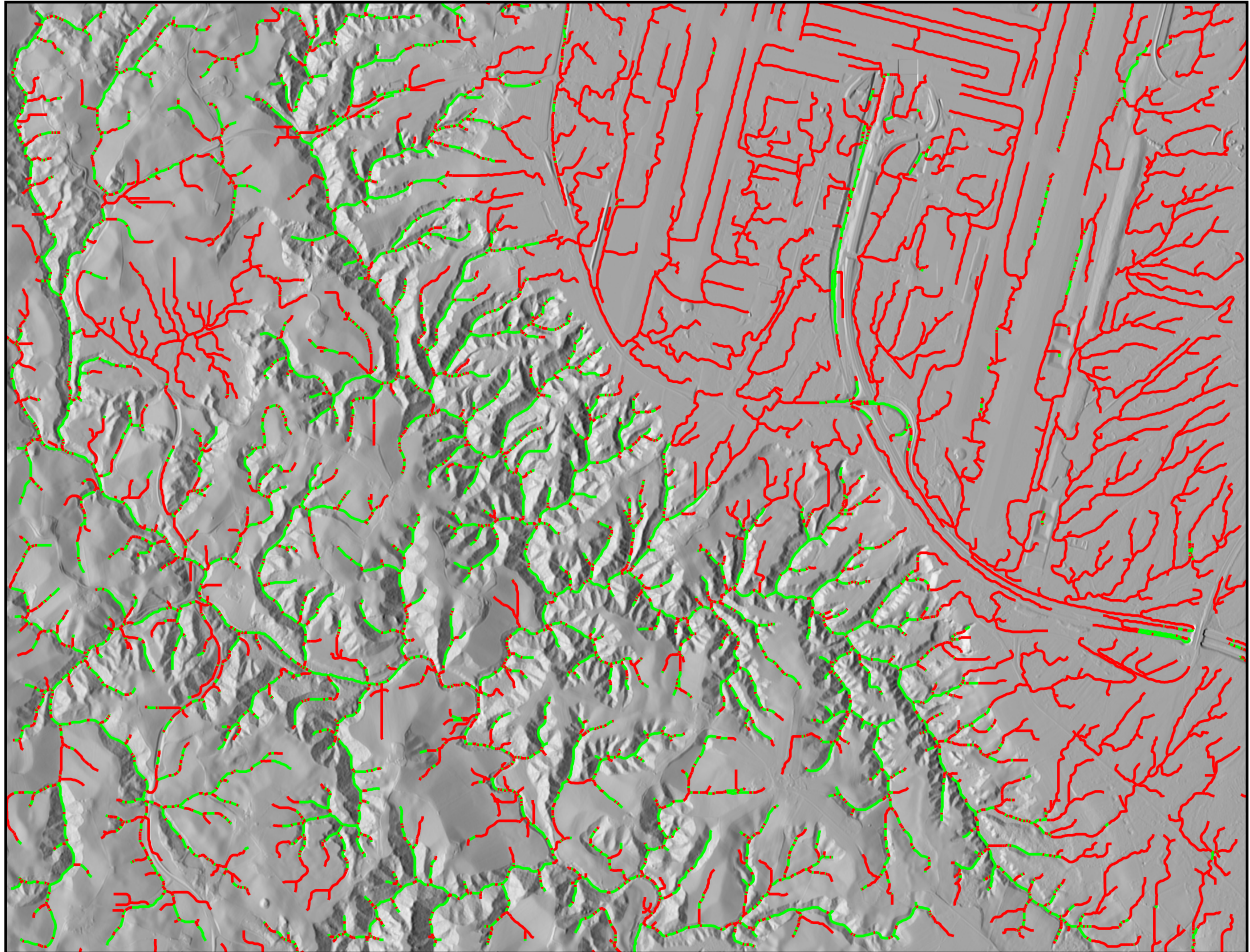


**Figur A.3:** Resultatet av klassifisering med kNN basert på høyde, helling og kurvatur. Terrengmodell fra Gardermoenområdet med 5 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner.



**Figur A.4:** Resultatet av klassifisering med kNN basert på høyde, helling og kurvatur. Terrengmodell fra Kroer med 5 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner.





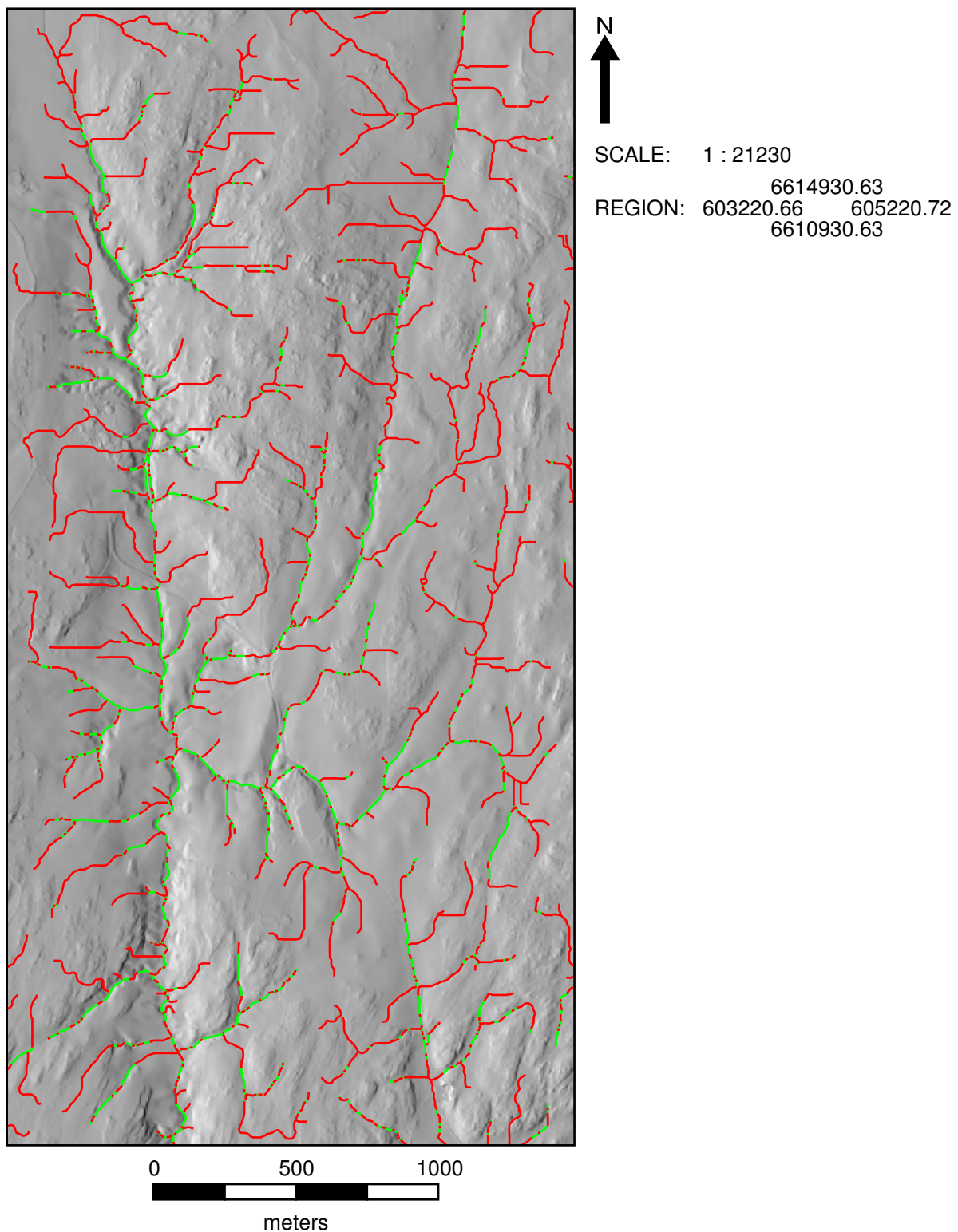
0                      1000                      2000  
meters

SCALE: 1 : 39847

REGION:                      6675186  
                                  611658                      618201  
                                  6670170

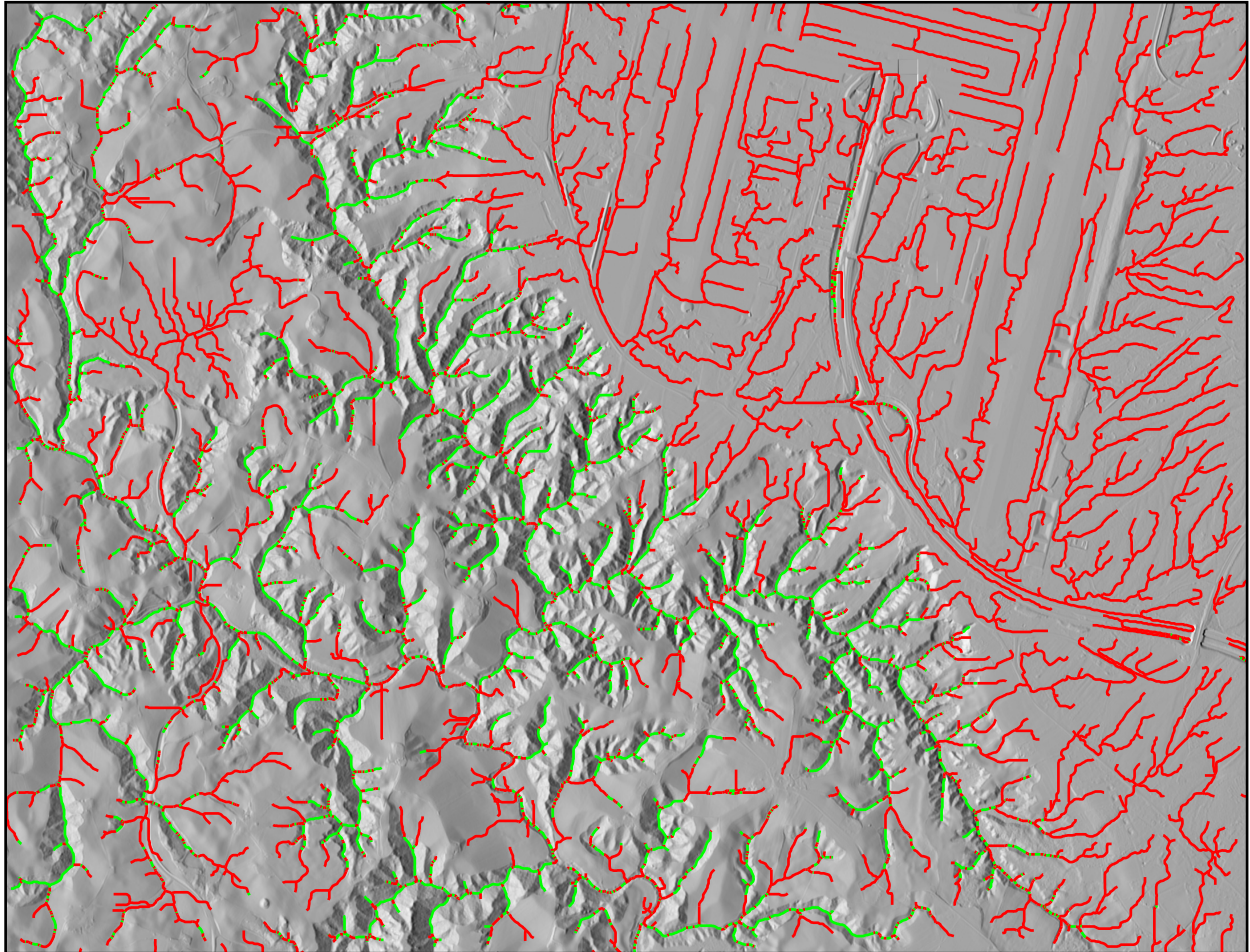


**Figur A.5:** Resultatet av kNN-klassifisering med normalisert helling, kurvatur og høyde på terrengmodell fra Gardermoenområdet med 5 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner.



**Figur A.6:** Resultatet av kNN-klassifisering med normalisert helling, kurvatur og høyde på terrengmodell fra Kroer med 5 meters oppløsning. Grønne linjer klassifisert som raviner.





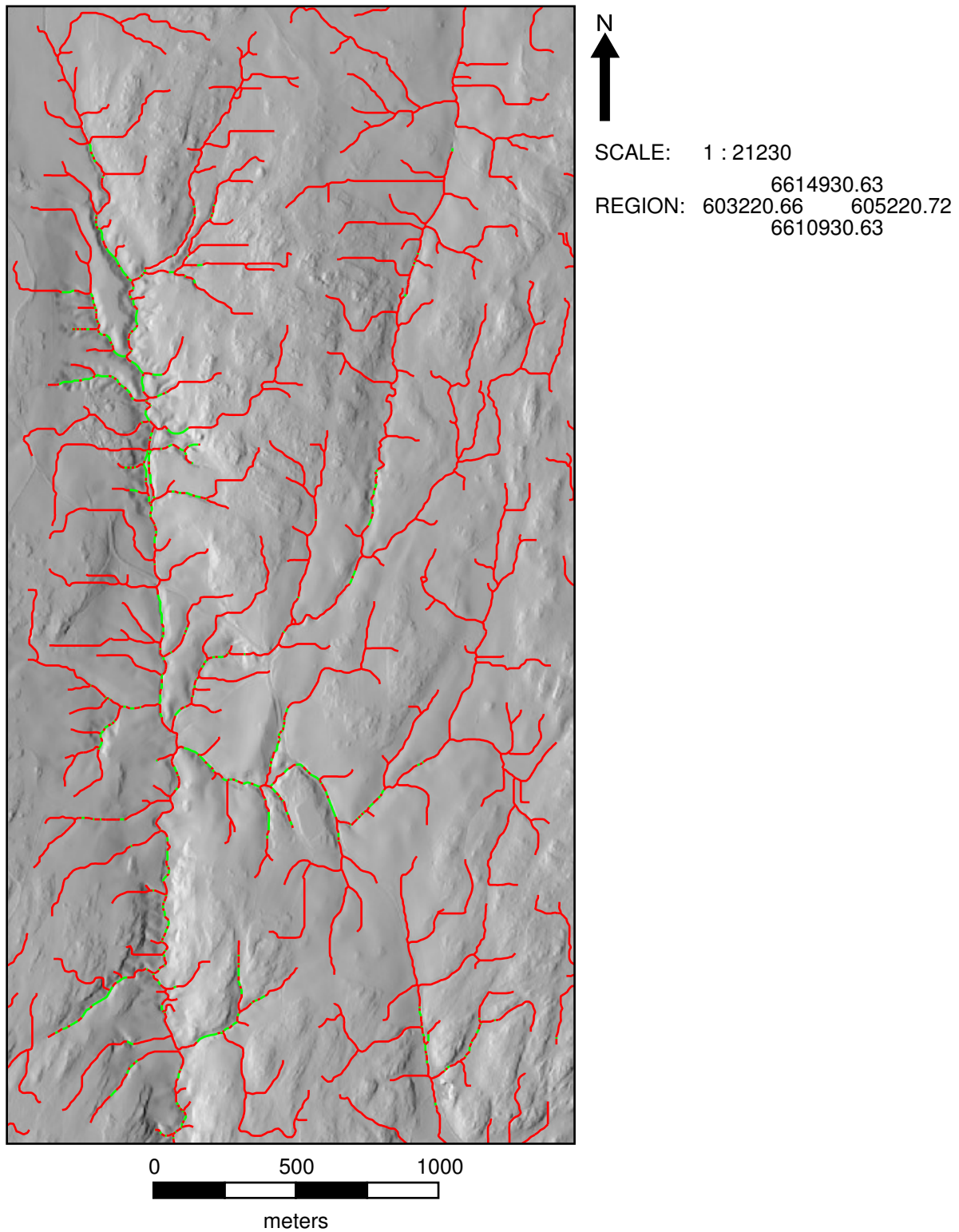
0 1000 2000  
meters

SCALE: 1 : 39847

6675186  
REGION: 611658 618201  
6670170



**Figur A.7:** Resultatet av kNN-klassifisering med intervaller. Grønne linjer klassifisert som raviner.



**Figur A.8:** Resultatet av kNN-klassifisering med intervaller. Grønne linjer klassifisert som raviner.

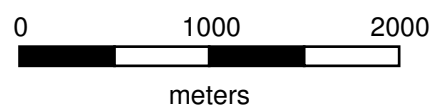
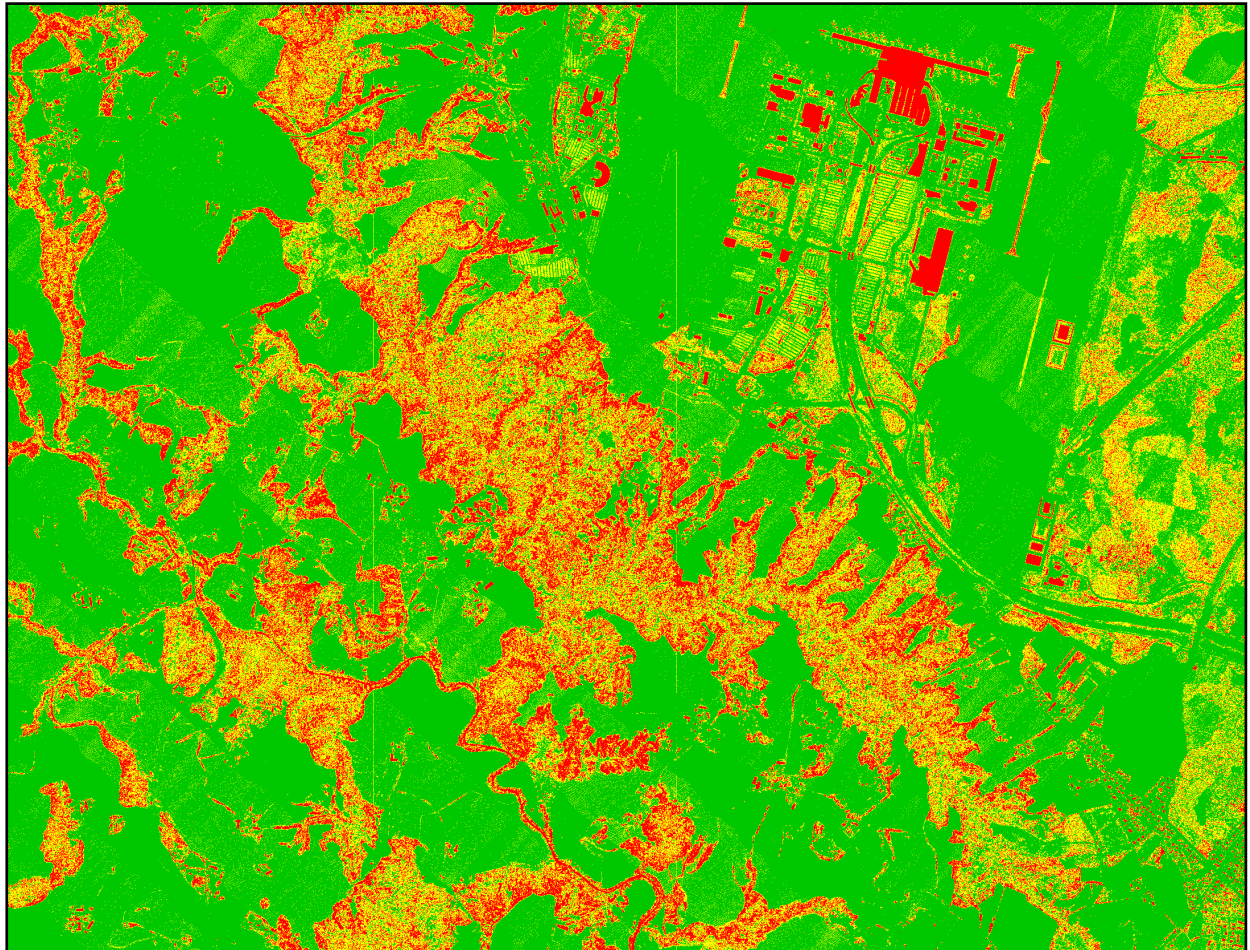
## A.2 Preprosessering

Terrengmodellene til studieområdene ble konstruert fra laserdata. For å gjøre om bakkelaserpunktene til vektorpunkter ble grassmodulen `v.in.lidar` brukt med argumentet `class_filter=2`. Deretter ble en overflateinterpolasjon utført med modulen `v.surf.rst` med argumentene `npmin=100`, `tension=10`, `smooth=1`.

Datasett	Innsamlingsdato	Punkttetthet (alle) per $1m^2$	Punkttetthet (bakke) per $3m^2$
Kroer	17.04.2008	1.5 – 2.8	0 – 55 (ca)
Gardermoen	2010	0.7	0 – 25 (ca)

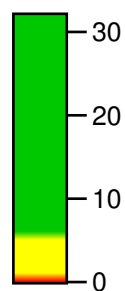
**Tabell A.1:** Koordinatsystem for begge laserdatasettene var *Euref 89*, *UTM-sone 32*. Punkttetthet per  $3m^2$  er estimert ved visuell inspeksjon av kartene i figur A.9 og A.10



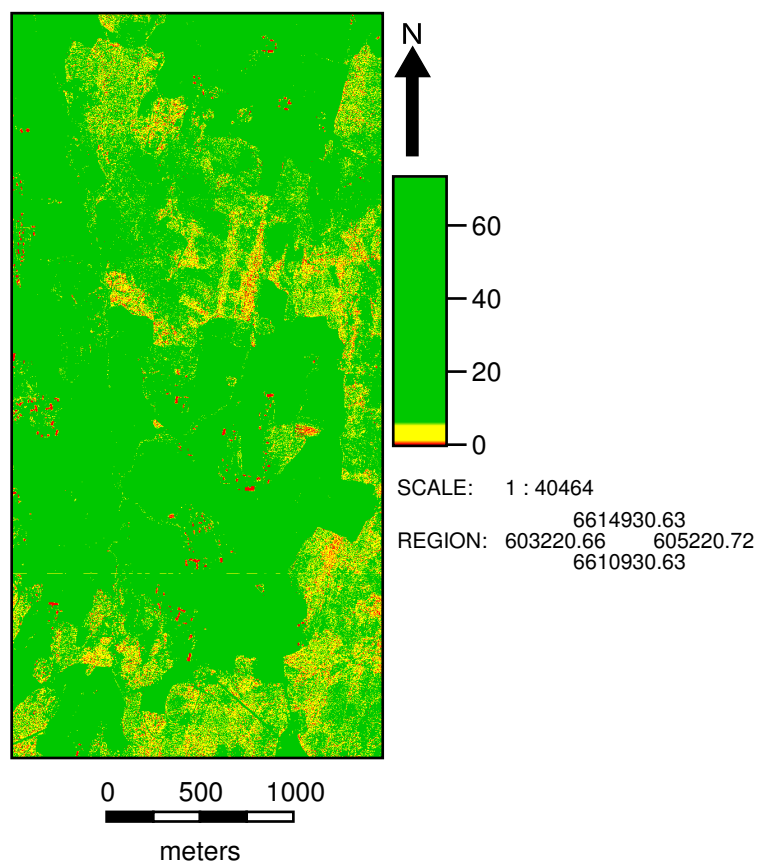


SCALE: 1 : 39845

REGION:                      6675186  
611658                      618201  
                                    6670170



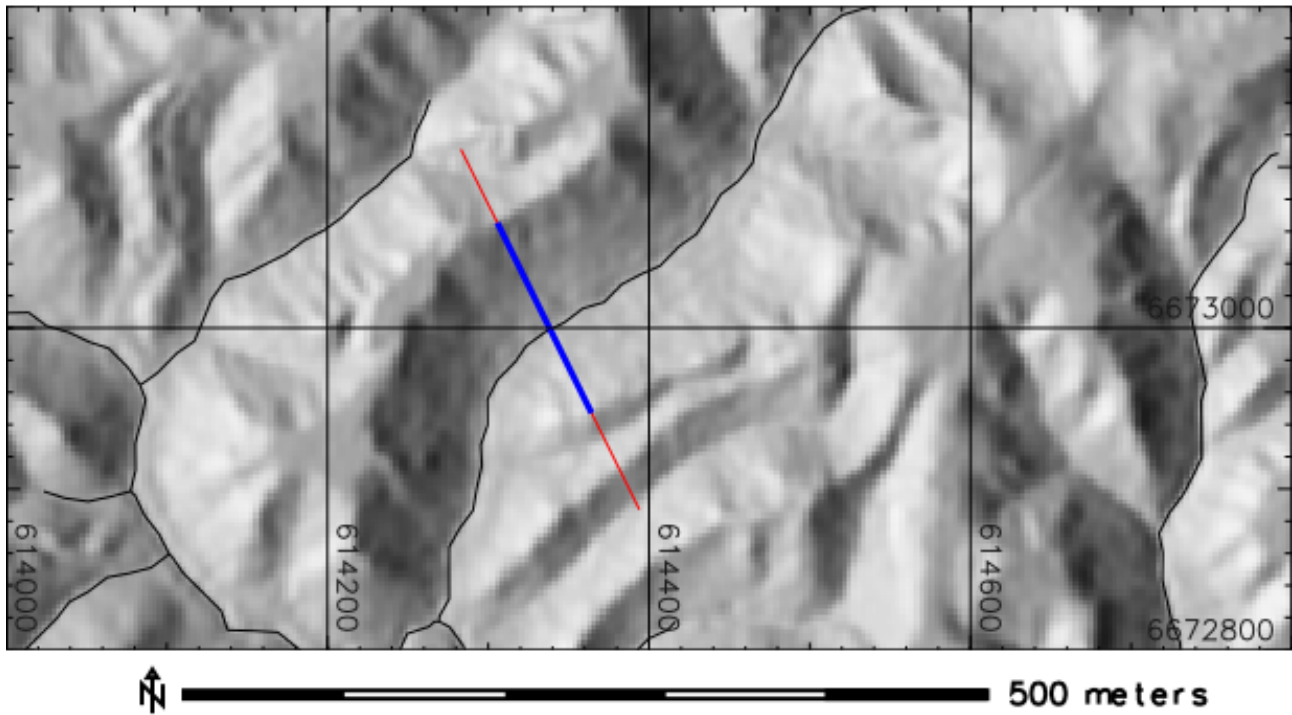
**Figur A.9:** Punkttetthet per  $3m^3$  for studieområdet ved Gardermoen. Selv med en pikseloppløsning på 3 meter er det flere steder uten noen returnerte laserpunkt (rødt). Koordinatsystem ETRS89, UTM32N.



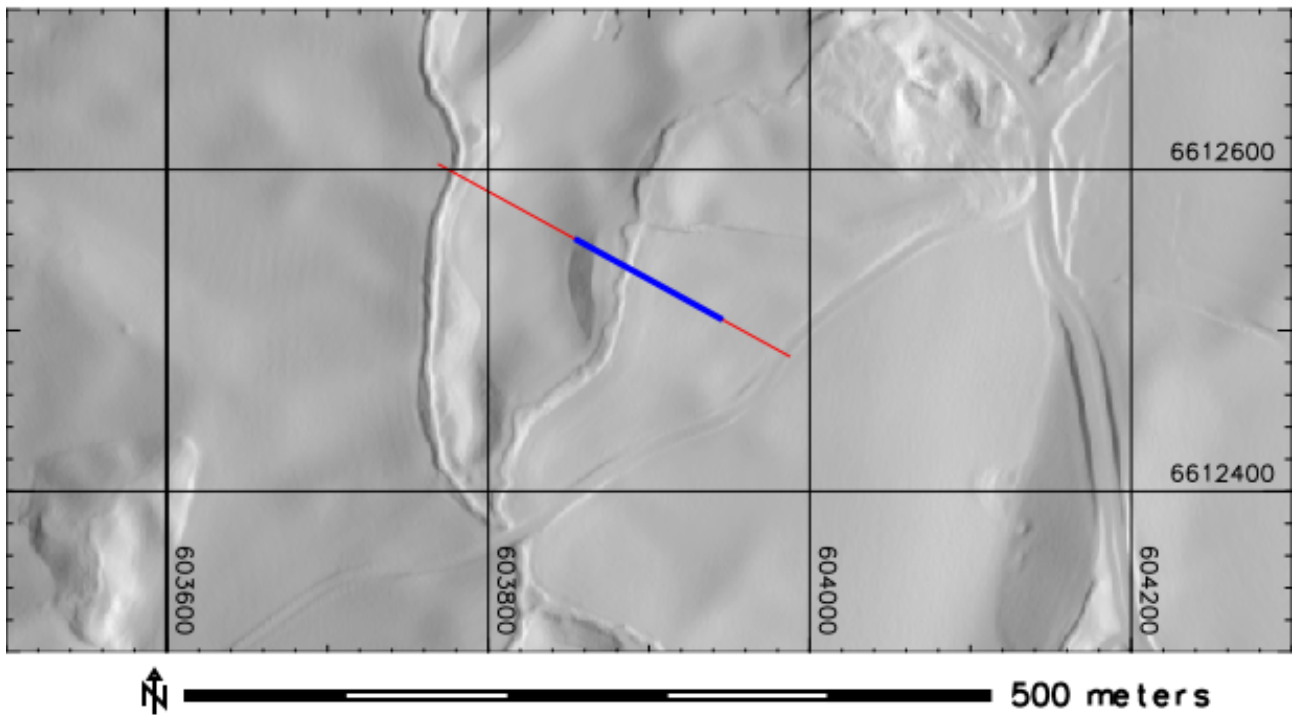
**Figur A.10:** Punkttetthet per  $3m^3$  for studieområdet ved Kroer. Selv med en piksel-oppløsning på 3 meter er det enkelte steder uten noen returnerte laserpunkt (rødt), men i dette studieområdet er det stort sett kun der det egentlig er bygninger. Koordinatsystem ETRS89, UTM32N.

### A.3 Kart over profillinjer

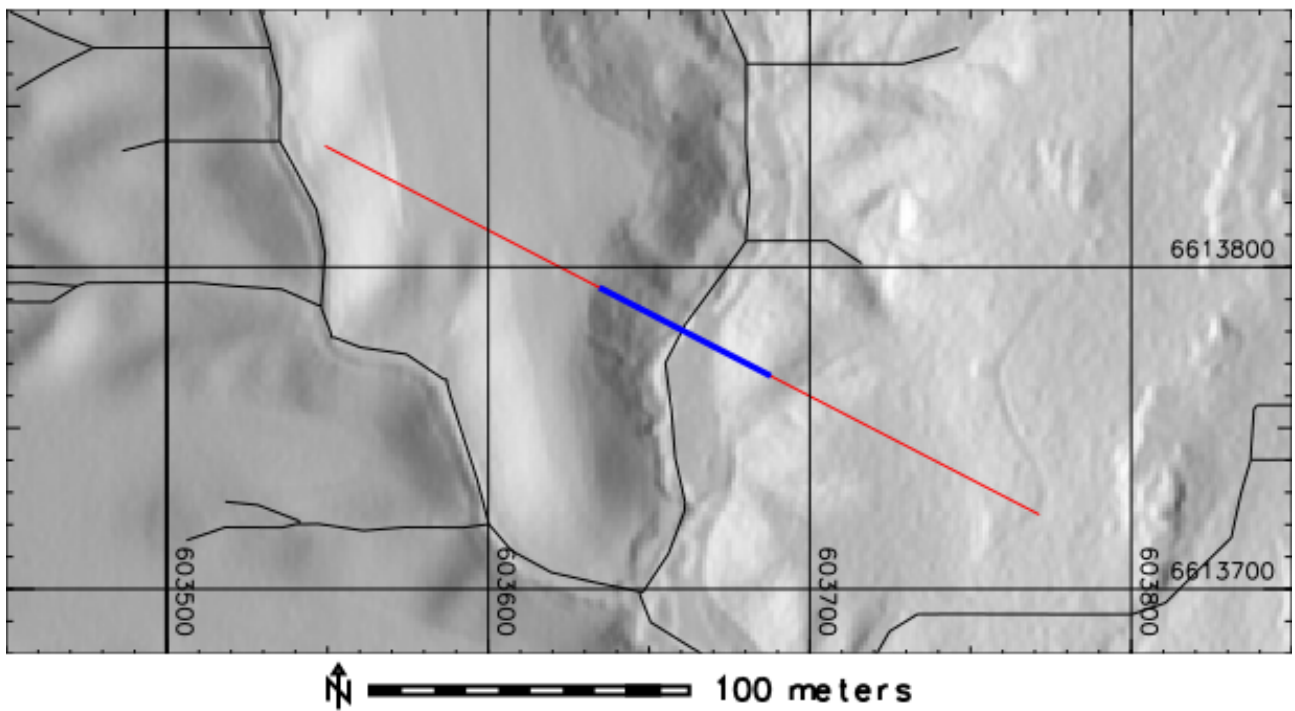
Alle koordinater i ETRS89, UTM32N (EPSG:25832). I figurene er blå linje kuttet til de detekterte kantene, mens rød linje viser den totale lengden på terrengprofilen.



Figur A.11: Kart fra Romerike som viser terrengprofilen i figur 3.5, figur 2.2, figur 2.7.



Figur A.12: Kart fra Kroer som viser terrengprofilen i figur 4.2.

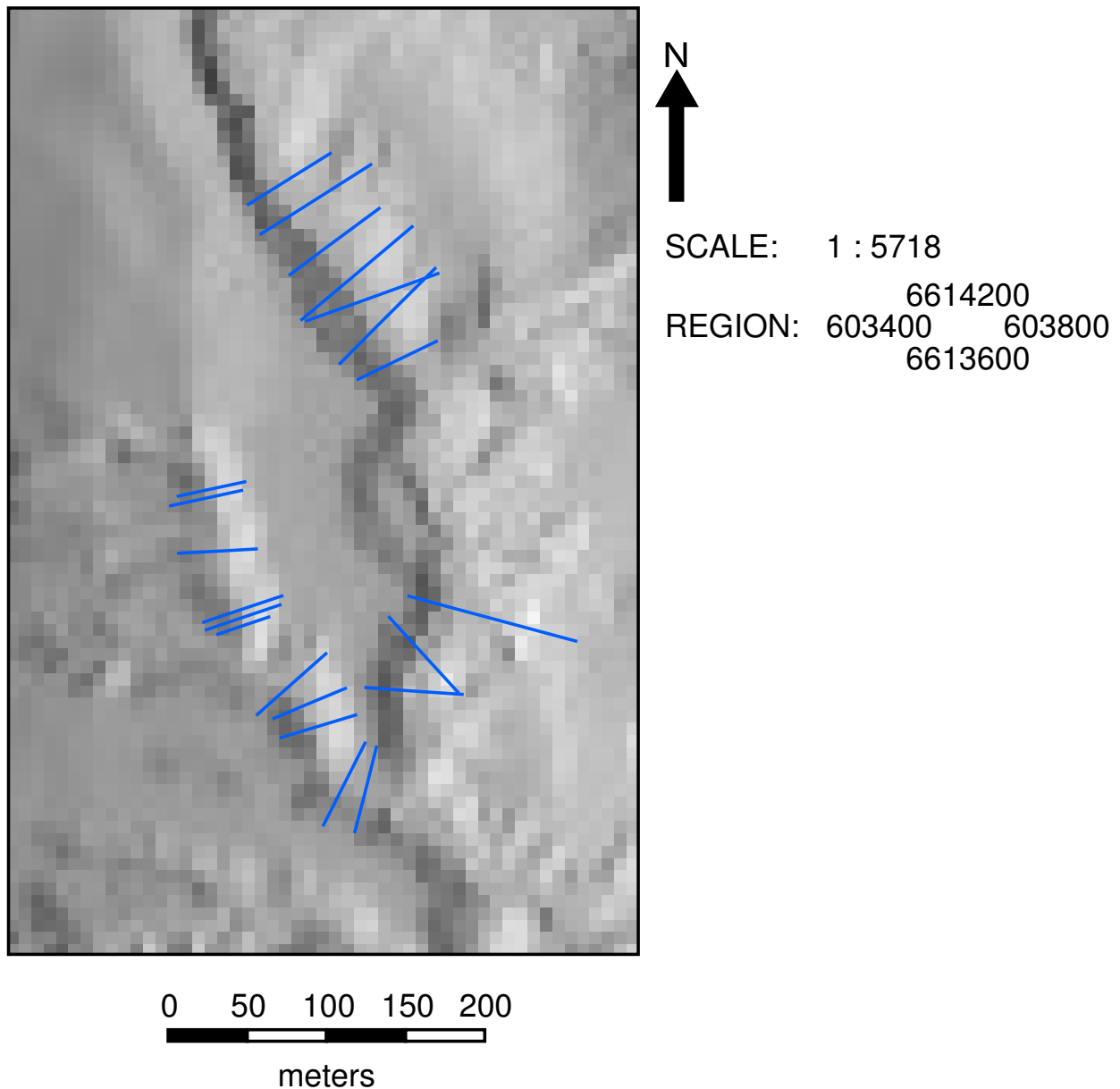


Figur A.13: Kart fra Kroer som viser terrengprofilene i figur 5.1.

## A.4 Treningsdata

Selve treningsdataene ligger tilgjengelig på github<sup>1</sup>.

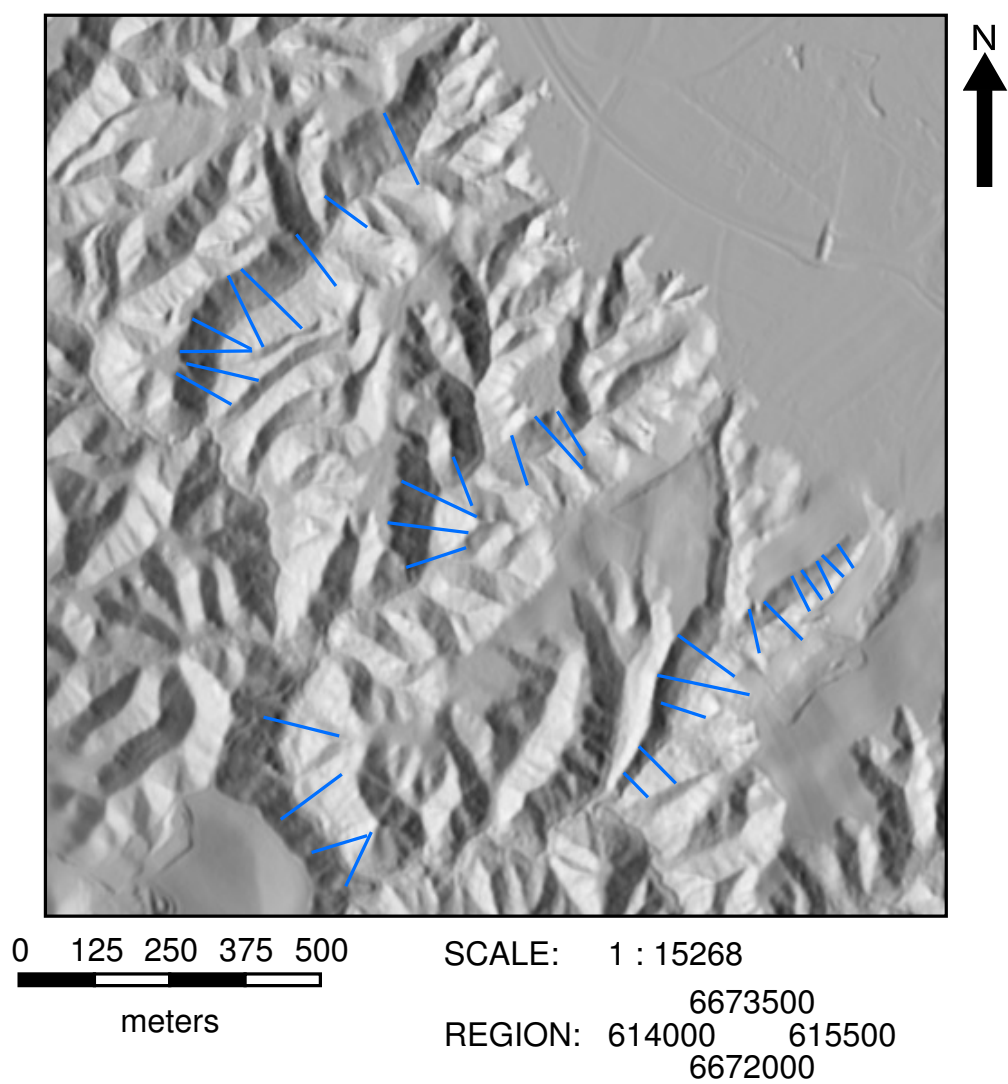
### A.4.1 Kart



**Figur A.14:** *Profillinjene som ble brukt som treningsdata fra Kroer. Koordinatsystem ETRS89, UTM32N.*

<sup>1</sup><https://github.com/jorgkv/master-thesis-ravines>





**Figur A.15:** *Profillinjene som ble brukt som treningsdata fra Gardemoen. Koordinat-system ETRS89, UTM32N.*



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway