

**NR**



**Norsk  
Regnesentral**  
NORWEGIAN COMPUTING CENTER

UiO • Det odontologiske fakultet



**Notat**

# Bildeanalyse av røntgenbilder til hjelp for aldersvurdering

**Notatnr**

**SAMBA/43/11**

**Forfattere**

**Sigrid I. Kvaal, Line Eikvil, Marit Holden**

**Dato**

**November, 2011**





<b>Tittel</b>	<b>Bildeanalyse av røntgenbilder til hjelp for aldersvurdering</b>
<b>Forfattere</b>	<b>Sigrid I. Kvaal (UiO), Line Eikvil (NR), Marit Holden (NR)</b>
<b>Dato</b>	1. November
<b>År</b>	2011
<b>Publikasjonsnummer</b>	SAMBA/43/11

### **Sammendrag**

Hensikten med denne pilotstudien har vært å vurdere hvordan og i hvilken grad verktøy basert på automatisk bildeanalyse kan være til hjelp ved aldersvurderinger med tanke på å oppnå mer repeterbare, objektive og kvantitative målinger. Hovedfokus har vært på tannrøntgen.

Gjennom studien har vi vist at det bør være mulig å utvikle bildeanalysealgoritmer som gir en beskrivelse av tannen som gjør det mulig å trekke ut mål som kan ha en sammenheng med tannens utvikling. Dagens manuelle tilnærming for aldersvurdering er basert på tannlegenes visuelle analyse og sammenligning med beskrivelser og maler for utviklingsstadier. En slik direkte bruk av maler tror vi er vanskelig å kombinere med bildeanalyse. Gitt at en kan finne gode nok mål, har imidlertid en framgangsmåte basert på mål flere fordeler ved at den gir kvantitative og kontinuerlige observasjoner med bedre mulighet for å kvantifisere usikkerheten og mindre tap av informasjon på veien.

Vi har sett på noen ulike klasser av bildebaserte mål som kan la seg bestemme automatisk ved hjelp av bildeanalyse; lengdemål, breddemål og arealmål. De arealbaserte målene representerer her noe nytt i forhold til tidligere mål som i hovedsak har vært basert på avstander. Bildeanalysealgoritmene er testet ut og målene beregnet for et lite datasett. På det samme datasettet er det også gjort en manuell gradering i stadier av to uavhengige observatører, der den manuelle graderingen viser stor interobservatørvariasjon. Resultatene av bildeanalysen ser lovende ut. Av målene ser de arealbaserte spesielt interessante ut, og resultatene kan indikere et bra sammenfall med alder. For å verifisere disse sammenhengene er det likevel nødvendig med studier av mye større datasett for å avgjøre at sammenfall mellom alder og mål ikke er tilfeldig. Det er også nødvendig med videreutvikling av de foreslåtte algoritmene og uttesting på et større datasett for å avgjøre om de vil være robuste nok for bruk i praktisk aldersvurdering.

*Den gjennomførte studien er gjort i samarbeid mellom Det odontologiske fakultet ved UiO og Norsk Regnesentral og finansiert av UDI.*

<b>Emneord</b>	Aldersvurdering, tannrøntgen, bildeanalyse
<b>Tilgjengelighet</b>	Begrenset
<b>Prosjektnummer</b>	220 519
<b>Satsningsfelt</b>	Bildeanalyse og mønstergjenkjenning
<b>Antall sider</b>	28
<b>© Copyright</b>	Norsk Regnesentral

## **Abstract**

The objective of this study has been to evaluate the potential of automatic image analysis used as a helping tool in odontologic age estimation to obtain more objective, repeatable and quantitative measurements.

Through the study we have shown that it should be possible to develop algorithms based on image analysis that enable semi-automatic extraction of tooth contours. We have also shown that from the resulting contours it should be possible to derive measurements that are related to tooth development. Following the manual approach used today, dentists perform age estimation based on visual analysis and comparison with drawn templates and written descriptions of the tooth's development stages. We believe that such an approach is less suited for a more automatic image-based approach. However, an approach based on measurements rather than templates and stages, has several advantages as it gives quantitative and continuous observations that can enable better estimation of the uncertainty and reduce information loss caused by quantification into stages. This does however require that stable measurements with a good correspondence to tooth development can be found.

We have looked into some classes of image-based measurements, based on length, width and area, which can be automatically determined. The area-based measurements represent a novel approach, as previous studies have focused on distance-based measures that can more easily be obtained manually. The algorithms have been tested and the measurements computed for a small set of dental X-rays (orthopantomograms), and the results have been compared both with manual assignments into stages and chronological age. The results from the image-based extraction of tooth contours are promising and the area-based measurements seem particularly interesting indicating good correspondence with age. However, to verify the statistical significance of these initial findings, experiments on a much larger dataset are necessary. In addition, further development of the image-based algorithms, along with testing on larger datasets, is necessary to determine whether these algorithms can be made sufficiently robust for use in practical age estimation.

# Innhold

<b>1</b>	<b>Aldersvurdering fra tannrøntgen .....</b>	<b>9</b>
1.1	Problemstilling .....	9
1.2	Dagens metoder .....	9
1.3	Datasett .....	11
1.4	Aldersvurdering foretatt ved odontologisk .....	12
1.5	Bildeanalyse til hjelp for aldersvurdering .....	12
1.5.1	Segmentering .....	13
1.5.2	Bestemmelse av utviklingsstadier vs. målinger .....	17
1.6	Eksperimenter, resultater og diskusjon .....	20
1.7	Vurdering av metoder .....	25
<b>2</b>	<b>Analyse av håndrotsrøntgen .....</b>	<b>25</b>
<b>3</b>	<b>Oppsummering og konklusjon.....</b>	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>Referanser .....</b>	<b>27</b>

## Figuroversikt

Figur 1: Rotutvikling etter stadier fra Gleiser og Hunt .....	10
Figur 2: Stadiene i rotutviklingen av visdomstenner som beskrevet av Demirijan.....	10
Figur 3: Alle tennene vist i et OPG-bilde. ....	11
Figur 4: Visdomstenner fra 7 av bildene. ....	12
Figur 5: Skisse av tannens bestanddeler. ....	14
Figur 6: Kantstyrke beregnet fra bildene. ....	15
Figur 7: Eksempler på segmentering ved hjelp av aktive konturmodeller fra Chen.....	15
Figur 8: Resultat av segmenteringen. ....	16
Figur 9 Bilde før og etter segmentering.....	17
Figur 10: Lengder, bredder og arealer beregnet fra tannen.....	18
Figur 11: Plott av graderinger og mål mot alder for alle 7 bildene. ....	23
Figur 12: Plott av graderinger og mål mot alder for alle bilder unntatt nr. 8.....	24





# Bildeanalyse av røntgenbilder til hjelp for aldersvurdering

---

Aldersvurdering har blitt aktuelt i mange land, spesielt av mindreårige asylsøkere som hevder de er under 18 år og som gir inntrykk av å være eldre. Mange land utfører aldersvurderinger basert på tann og skjelettutviklingen (Schmeling et al., 2006, Cunha et al., 2009). Vurderingene er basert på at skjelettet vokser og forbenes ettersom barnet vokser inntil knoklene er ferdig utviklet. Mest vanlig er å bruke knoklene i håndskjelettet, men ribben og krageben er også brukt i spesielle tilfeller. På samme måte er det med tenner som dannes og utvikles gjennom barne- og ungdomstiden. Denne utviklingen avsluttes med at roten på visdomstannen ferdigdannes. For både tenner og skjelett baserer vurderingen seg på graderinger av utviklingen etter modeller som enten er skjematisk tegninger av de forskjellige stadier i utviklingen, fotografier av røntgenbilder, beskrivelse av stadiene eller kombinasjoner av disse (Greulich og Pyle, 1959, Gleiser og Hunt, 1955, Demirijian et al., 1973). Analysene av røntgenbildene gjøres av henholdsvis tannleger og leger med spesialkompetanse innen feltet.

Hensikten med denne pilotstudien er å vurdere hvordan og i hvilken grad verktøy basert på automatisk bildeanalyse kan være til hjelp i disse analysene med tanke på å oppnå mer repeterbare, objektive og kvantitative målinger. Hovedfokus vil i denne omgang være på tannrøntgen, men en del av prinsippene kan være overførbare også til håndrostrøntgen.

## 1 Aldersvurdering fra tannrøntgen

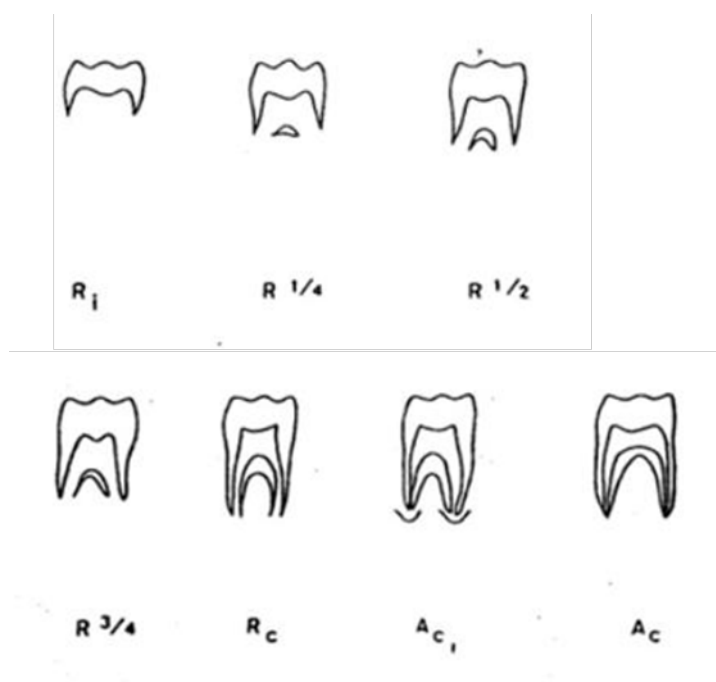
### 1.1 Problemstilling

Utviklingen av visdomstennenes er ansett å være den beste indikator til å vurdere alder i slutten av tenårene. I denne pilotstudien fokuserer vi derfor på bestemmelse av utviklingsstadier for visdomstenner fra panoramiske røntgenbilder, orthopantomogram (OPG). Dette gjøres i dag ved å klassifisere visdomstennene i utviklingsstadier, og deretter brukes ulike oppslagstabeller som knytter utviklingsstadier til alder. Klassifikasjonen i stadier gjøres manuelt basert på visuell analyse av tannen i røntgenbildet. Hensikten i denne studien er å se på i hvilken grad metoder basert på bildeanalyse og mønstergjenkjenning kan være til hjelp i denne analysen.

### 1.2 Dagens metoder





De mest alminnelige metodene som brukes i dag sammenligner tennenes rotutvikling, som sett i røntgenbilder, med tegninger av tannutviklingen. Rotutviklingen deles i 7 stadier etter Gleiser og Hunt (Figur 1). Aldersvurderinger utføres oftest i aldersgruppen 16-18 år hvor visdomstannen er den eneste tannen som ikke er ferdig utviklet. For vurdering av visdomstenner i underkjeven brukes tabeller utarbeidet av Kullman, Johanson og Åkesson

(1992) og Liversidge (2008) og for overkjeven brukes tabeller fra Haavikkos arbeider (1970). Visdomstennene i underkjeven kommer tydeligst frem på røntgenbilder og brukes derfor i de fleste studiene. Det er også disse tennene vi har fokusert på i dette prosjektet.



Figur 1: Rotutvikling etter stadier fra Gleiser og Hunt (1955).

En grovere inndeling med bare 4 stadier av rotutviklingen (Figur 2) beskrevet av Demirijan et al. (1973) er brukt i andre studier (Roberts et al., 2008 ).

<b>Stage E</b>	The root length is less than the crown height.	<b>E</b>	
<b>Stage F</b>	The root length is equal to or greater than the crown height.	<b>F</b>	
<b>Stage G</b>	The walls of the root canal are parallel, and its apical end is still partially open.	<b>G</b>	
<b>Stage H</b>	The apical foramen is completed.	<b>H</b>	

Figur 2: Stadiene i rotutviklingen av visdomstener som beskrevet av Demirijan et al. (1973).

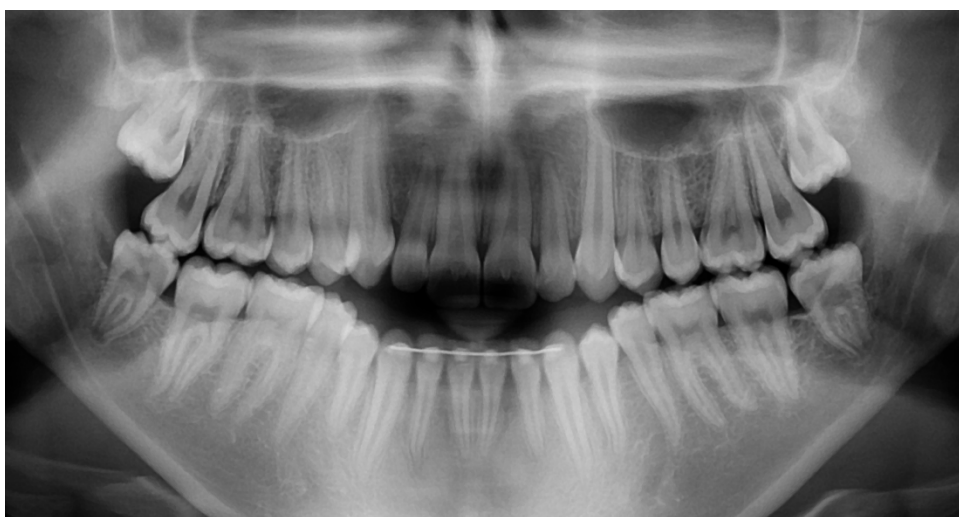
Ulempen ved disse metodene for aldersvurdering er at graderingene i stadier blir subjektive. Selv om noen artikler både gjengir røntgenbilder og beskrivelse av stadiene, er det likevel rom for forskjellig fortolkning av stadiene. Dette er da også påpekt i flere studier. Både Kullman et al. (1996) og Thevissen et al. (2011) viser for eksempel til at graderingen i stadiene R1/4, R1/2 og R3/4 er basert på at en bestemmer den observerte rotlengden i forhold til den rotlengden tannen er forventet å ha når den er ferdig utviklet, noe som nødvendigvis må bli subjektivt. Det er derfor ønskelig med en gradering som baserer seg på objektive funn eller målinger for å redusere operatørvariasjoner.

Thevissen et al. (2011) påpeker i tillegg at siden graderingen baseres på diskrete (ikke-kontinuerlige) trinn i en utvikling, kan utviklingsgraden mellom to personer som er gitt samme gradering være forskjellig. Maksimal forskjell vil det være mellom en som nettopp har passert den laveste terskelen for et stadium og en som er akkurat nedenfor den øverste grensen. Dersom en kan finne gode mål/egenskaper som kan brukes i stedet for graderinger, vil dette kunne gi både kontinuerlige data og målinger som kan være mer objektive og reproducerbare enn dagens gradering inn i stadier.

Det vil alltid være store biologiske variasjoner som en ikke kan komme bort fra. Men metoder basert på bildeanalyse kan kanskje bidra til å redusere en del av de andre variasjonene. Det er imidlertid ikke åpenbart at dagens visuelt baserte metoder kan overføres direkte til en mer automatisk analyse.

### 1.3 Datasett

Datasettet vi har hatt tilgjengelig består av 30 orthopantomogram som er tatt opp ved Det odontologiske fakultet, Universitetet i Oslo, som del av en fullstendig odontologisk undersøkelse. Disse bildene inneholder 12 bits gråtoneinformasjon (4096 gråtonenivåer), og er representert som 16-bits bilder. Figur 3 viser alle tennene i et slikt bilde.

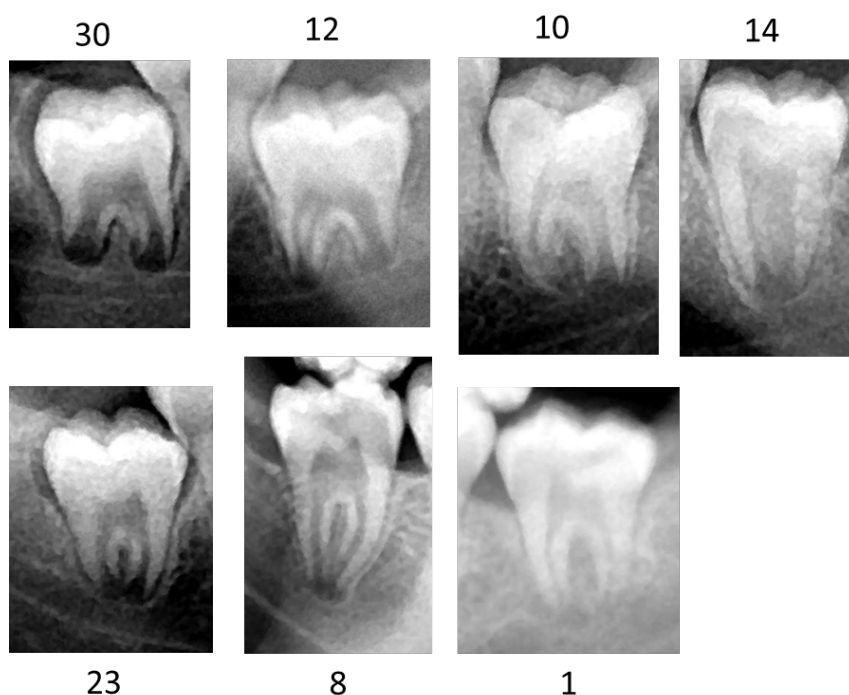


Figur 3: Alle tennene vist i et OPG-bilde.

Det totale datasettet består av bilder tatt av barn og ungdom i alderen 14 til 20 år. Bildene er med varierende utvikling av roten på visdomstennene i underkjeven og med kjent alder ved

eksponering. Både den manuelle graderingen, bildeanalysen og beregningen av ulike mål er gjort uten kjennskap til alderen for de enkelte bildene, mens alderen var kjent under den påfølgende analysen av resultatene.

På grunn av begrensede rammer i forprosjektet har vi i analysen måttet fokusere på et subsett av tennene. Utvalget av dette settet ble blant annet gjort basert på den synlige rotutviklingen av tennene i bildet, hvor vi valgte ut bilder der rotutviklingen var i gang. Figur 4 viser subsettet av tenner vi har sett på.



Figur 4: Visdomstenner fra 7 av bildene (tallene over/under viser til bilde-ID`er brukt i studien).

#### 1.4 Aldersvurdering foretatt ved odontologisk

Av de 30 tilgjengelige OPG røntgenbildene er det trukket ut 7 bilder som representerer forskjellige utviklingstrinn av visdomstannen (tann 38 og 48). Graden av rotutvikling ble vurdert av to tannleger - en med erfaring i aldersvurdering basert på tannutvikling (Exam1) og en uten noen slik erfaring (Exam 2). Graderingen ble utført etter tegninger i Haavikkos artikkel som baserer seg på Gleiser og Hunts opprinnelige inndeling og etter Demirijans beskrivelser av stadier av rotutvikling. Ved aldersvurdering brukes oppslagstabeller for å komme fra stadier til aldersestimat. Her har vi imidlertid nøyd oss med graderinger i stadier.

#### 1.5 Bildeanalyse til hjelp for aldersvurdering

Metodene som benyttes av tannlegene i dag tar utgangspunkt i hele visdomstannen, men ser for den aktuelle aldersgruppen mest på utviklingen av roten. For en automatisert metode som skal bygge på de samme prinsippene, vil det trolig være behov for å lage en full beskrivelse av tannen og identifisere omrisset av tannens ulike bestanddeler. Det avgjørende er da hvordan

og i hvilken grad det kan være mulig å segmentere (avgrense) tannens ulike deler automatisk (eller semi-automatisk) og hvordan dette kan gjøres. Dette vil vi se nærmere på i avsnitt 1.5.1.

Vi har for bildeanalysen fokusert på visdomstenner der roten er under dannelse, da dette korresponderer med den mest interessante aldersgruppen og også er den aldersgruppen som er representert i datasettet. Samtidig tilsvarer dette utviklingsstadiene som kan være vanskeligst å skille. For eksempel er det i studier både av Dhanjal et al. (2006) og Kullman et al. (1996) funnet at det ved manuelle graderinger er størst samsvar mellom graderinger for de tidlige utviklingsstadiene og minst for de senere, særlig rundt stadiene der roten er utvokst, mens rotspissen holder på å lukkes (Gleiser og Hunt: stadium  $R_c$ ,  $A_{c1}$  og  $A_c$ ; Demirijan: stadium G og H). Dhanjal et al. har forøvrig også sammenlignet reproduserbarheten og funnet at denne er høyere ved analyse av visdomstenner i underkjeven enn i overkjeven. Vi har derfor i vår begrensede studie valgt å fokusere på visdomstenner i underkjeven.

Som nevnt er tannlegenes gradering av den aktuelle aldersgruppen basert mye på rotutviklingen, og for de siste trinnene i utviklingen rundt 17-19 år er graderingen basert på utviklingen i rotspissen. Dette er et svært lite område, der forandringene som skjer er små samtidig som området kan være dårlig avbildet fordi det ligger bak annet vev og strukturer. På bakgrunn av dette tror vi derfor ikke at bildeanalysealgoritmer som baserer seg direkte på matching mot templatbilder eller beskrivelser av stadier vil kunne fungere. I stedet bør bildeanalysen basere seg på å beregne ulike mål og egenskaper som kan henge sammen med alder. Flere studier har da også påpekt at bruk av ulike mål kan være en vei å gå også for tannlegenes vurdering (Thevissen et al., 2011, Kullman et al., 1996). Foreløpig har likevel ingen funnet fram til mål som gir tilstrekkelig forbedring i aldersvurderinger samtidig som de er objektive og enkle å beregne.

Noen studier (Thevissen et al., 2011, Cameriere et al., 2006, Mörnstad et al., 1994) har sett på hvordan slike målinger kan gjøres ved hjelp av enkle verktøy direkte i bilder (digitale eller analoge). Målingene har da skjedd ved at operatøren selv må finne fram til de nøyaktige punktene det skal måles mellom. Dette har gjort metodene tungvinte i bruk, samtidig som resultatet fortsatt blir subjektivt. Tilnærmingene har heller ikke gitt noen større nøyaktighet enn de mer tradisjonelle og har derfor i de fleste tilfellene blitt forkastet. Men dersom bestemmelsen av de nøyaktige målepunktene kan automatiseres, kan en slik framgangsmåte bli mindre subjektiv uten å bli mer arbeidskrevende, og da kan den likevel være interessant. Samtidig har de fleste studiene fokusert på lengde- og breddemål som enkelt kan måles manuelt. Her kan imidlertid metoder som baserer seg på bildeanalyse, gi mulighet for beregning av både flere samtidige mål og nye typer mål (for eksempel arealbaserte) som visuell analyse gir liten mulighet til å benytte. Vi vil se på noen slike alternativer i avsnitt 1.5.2.

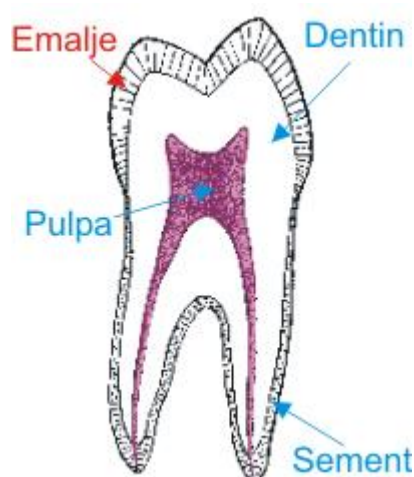
### 1.5.1 Segmentering

Eksisterende metoder for automatisk segmentering av tenner er først og fremst brukt i studier der en er ute etter å gjøre en identifikasjon og hvor det er nødvendig å søke i større bildedatabaser. Disse studiene ser da på alle tennene og har en helautomatisk tilnærming (ingen manuell guiding), men de ser gjerne bare på den ytre konturen av tennene og ikke på

den nederste delen nær roten. Metodene som ser ut til å ha hatt størst suksess i denne identifikasjonssammenhengen, er basert på såkalte aktive konturer (Chen og Jain, 2007). For aldersvurderinger er imidlertid rotdelen av tannen svært sentral for de mest aktuelle aldersgruppene, samtidig som bildet ofte er mest utydelig for denne delen. Vi er derfor avhengig av en bedre representasjon av tannens rotområde, men har i motsetning til studiene rettet mot identifikasjon mulighet til å få manuell input. Slik input må imidlertid være enkel å gi for tannlegen slik at den er rask å utføre og ikke innfører nye nivåer med usikkerhet.

### 1.5.1.1 Metode for segmentering

Hensikten med segmenteringen er å avgrense de ulike bestanddelene av tannen (Figur 5) med tanke på senere å kunne trekke ut mål som beskriver tannen. Segmenteringsalgoritmen vi har utviklet og testet består av flere trinn. Først plukker vi ut subbilder av visdomstannen fra panoramabildene. I denne prosessen retter vi også opp bildene slik at røttene blir vertikale og blir liggende nederst i bildet (se Figur 4), og vi finner et omtrentlig omriss av tannen. Deretter ber vi om manuell input fra brukeren i form av punkter som angir omtrent hvor de ulike konturene vi er interessert i befinner seg. Fra denne informasjonen finner vi de ønskede konturene automatisk. Konturene vi finner vil avgrense ulike regioner i bildet som overflaten av tannen, pulpa og tannsubstans. Eksempler på segmenterte bilder er vist i Figur 8.

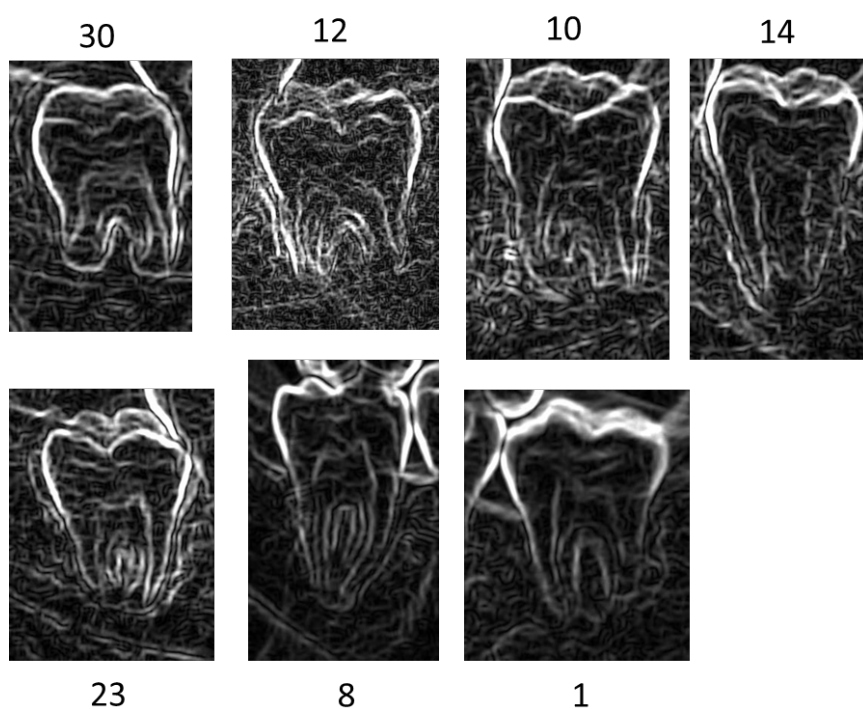


Figur 5: Skisse av tannens bestanddeler.

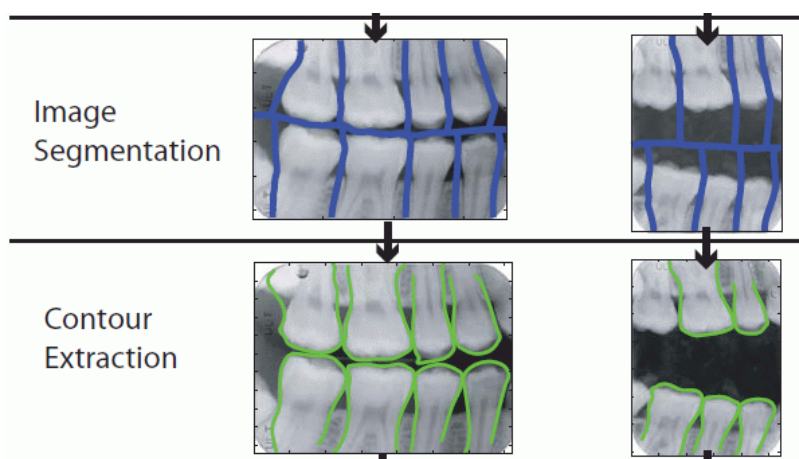
De første trinnene i prosessen fram til den omtrentlige ytre konturen er funnet, har vi i eksperimentene i denne studien gjort manuelt. Men her mener vi at metoder som de som er benyttet i identifikasjonssammenheng vil kunne brukes til å automatisere prosessen med å finne denne konturen. Et eksempel på et resultat fra en slik metode (Chen, 2007) er vist i Figur 7.

Visdomstannen kan så enten identifiseres automatisk, eller ved at brukeren peker den ut. Som nevnt over vil omrisset av tannen ikke være helt nøyaktig, spesielt ikke nederst i rotområdet. Et mer nøyaktig omriss kan vi finne på samme måte som vi finner de andre konturene vi er interessert i. For å finne konturene som avgrenser de ulike regionene, starter vi med å lage

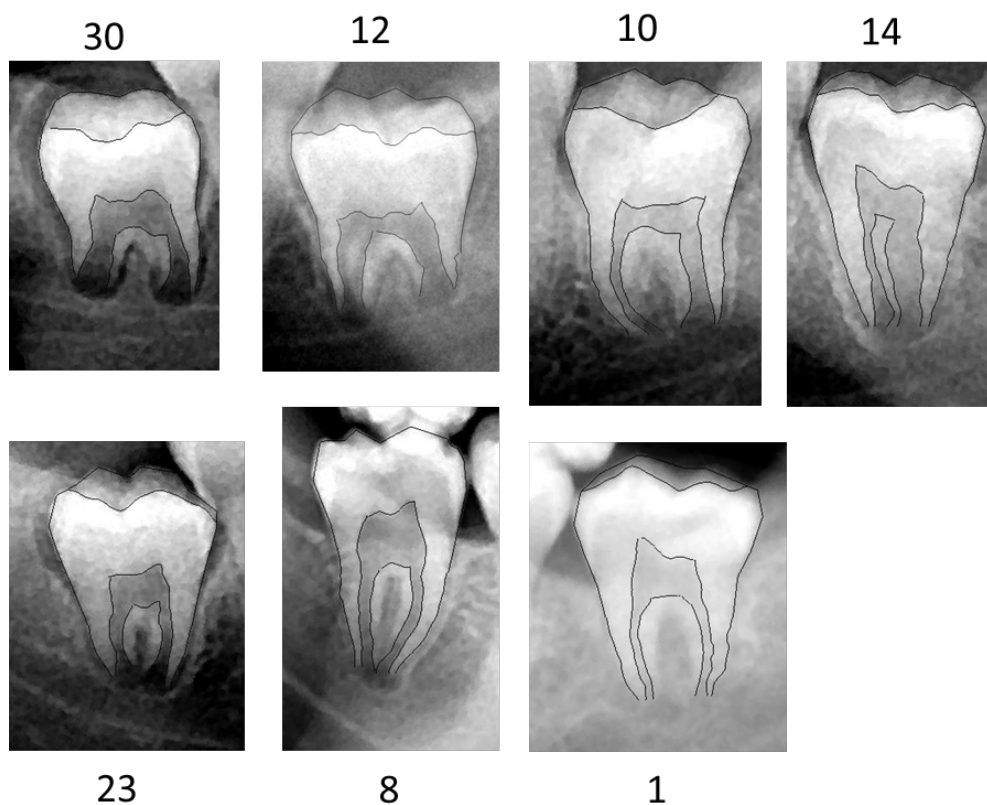
bilder av kantstyrke og -retning fra det opprinnelige, opprettede (sub-)bildet. Se Figur 6 for eksempler på bilder av kantstyrke. Fra hvert punkt brukeren har angitt, finner vi først det punktet i nærheten som har riktig kantretning og høyest kantstyrke. Deretter følger vi kanten i begge retninger fra dette punktet. Når vi følger kanten bruker vi, i tillegg til informasjon om kantstyrke, den informasjonen vi har om hvilken retning kanten skal gå i. Når vi følger roten vet vi for eksempel at kanten skal være nokså vertikal. For at vi skal kunne bruke slik retningsinformasjon og for at vi skal vite hvilken del av tannen konturen tilhører, er det viktig at bildet er rettet opp slik som vist i Figur 4.



Figur 6: Kantstyrke beregnet fra bildene.



Figur 7: Eksempler på segmentering ved hjelp av aktive konturmodeller fra Chen, 2007.



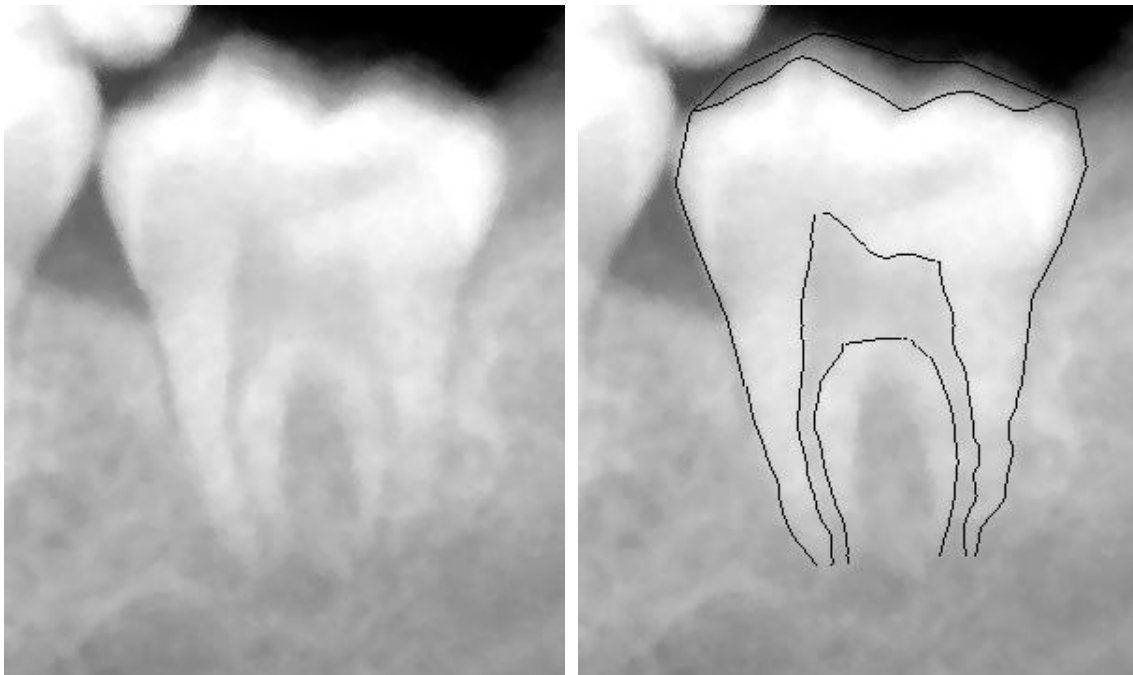
Figur 8: Resultat av segmenteringen.

### 1.5.1.2 Resultater og diskusjon

Resultatene fra segmenteringen med den delvis manuelle prosessen som er beskrevet i forrige avsnitt, er vist i Figur 8. Segmenteringen ble testet ut på et noe større sett av bilder, men ga ikke like gode resultater i alle bildene. Med videre algoritmeutvikling og metodeforbedring, tror vi imidlertid at metodene kan gjøres betraktelig mer robuste, men innenfor rammene av dette forprosjektet har det ikke vært tid til dette. Hvor robuste disse metodene kan gjøres, og hvor stor andel av tennene disse metodene vil virke tilfredsstillende på, er det også vanskelig å si noe om fra denne begrensede studien. For praktisk bruk bør denne andelen typisk være sammenlignbar med den andelen av tenner der tannlegene klarer å gjøre en gradering.

For den videre analysen har vi i denne omgang plukket ut de bildene der segmenteringen var vellykket. Disse viser også godt denne typen metoders potensiale, og hvordan en ved å kombinere bildeanalysen og informasjonen i bildet med kunnskap om hvordan objektene ser ut klarer å avgrense objektene ulike deler. I Figur 9 ser vi et av bildene før og etter segmentering. Vi ser at kantene i det automatisk segmenterte bildet følger de naturlige konturene i tannen, og at de går der vi venter at de skulle gå. (Den øvre delen av den ytre konturen er som tidligere nevnt bare grovt tegnet inn for hånd.)





Figur 9 Bilde før og etter segmentering.

### 1.5.2 Bestemmelse av utviklingsstadier vs. målinger

Dagens manuelle tilnærming, som er basert på tannlegenes visuelle analyse og sammenligning med beskrivelser og maler for utviklingsstadier, kan ikke så lett overføres direkte til en tilnærming basert på mer automatisert bildeanalyse. En viktig grunn til dette er at beskrivelsene og malene for de stadiene som kanskje er mest sentrale for den aktuelle aldersgruppen baserer seg på relativt små endringer i tannens rotspiss. Samtidig som dette er et lite område av tannen er det også den delen av tannen som er dårligst gjengitt i panoramabildet. Direkte sammenligning av den segmenterte tannen med templer i form av skisser eller bilder mener vi derfor ikke vil føre fram.

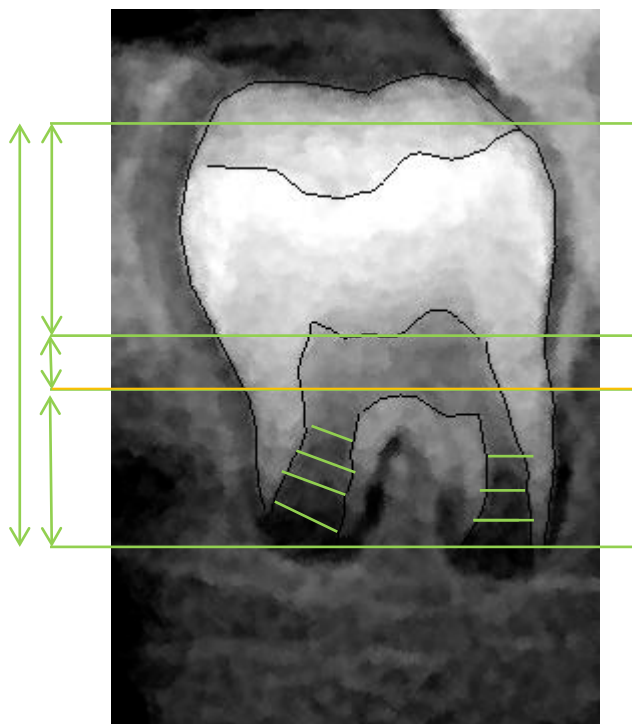
Konklusjonen er derfor at en ved bruk av metoder basert på automatisk bildeanalyse i stedet må bruke beskrivelsen en får av tannen til å trekke ut spesifikke egenskaper og mål. Det fins studier som har sett på bruk av ulike typer mål sammenlignet med den tradisjonelle graderingen inn i stadier (Thevissen et al., 2011) og konkludert med at sammenligning med maler er bedre. Tallmaterialet som presenteres i studien antyder likevel at resultatene som oppnås for de to typene av metoder er sammenlignbare. I tillegg består alle mål i avstander beregnet fra manuelt bestemte målepunkter. Bruk av automatisk bildeanalyse kan gjøre det mulig å trekke ut både flere mål og andre typer av mål som ikke like enkelt kan bestemmes manuelt. Vi har derfor sett på hvordan en kan trekke nye typer av mål ut fra denne typen beskrivelser av tannen (avsnitt 1.5.2.1). Vi har også sett på noen alternative metoder for å bestemme alder ut fra slike mål (avsnitt 1.5.2.2). Resultater fra eksperimenter utført på datasettet med røntgenbilder er beskrevet i avsnitt 1.6.

### 1.5.2.1 Bildebaserte egenskaper for aldersvurdering

Fra det segmenterte bildet kan det defineres ulike mål og egenskaper basert på avstander og arealer. Figur 10 viser et sett av slike mål, hvor alle kan beregnes automatisk fra det segmenterte bildet. Målene som er beregnet er valgt ut basert både på hva som har vært gjort i andre studier og på hva tannlegene ser på ved graderingen inn i utviklingsstadier. Først har vi sett på ulike lengdemål som blant annet Thevissen et al. har sett på i sine studier. Videre har vi sett på bredder av pulpa i tannens rot. Disse er valgt for om mulig å fange opp egenskaper knyttet til utviklingen av tannens rotspiss. I tillegg har vi også sett på en del ulike arealer, som er en type mål det er vanskelig å trekke ut manuelt og som derfor ikke tidligere har vært studert.

I de eksperimentene vi har gjort, er følgende avstander og arealer beregnet:

- Lengder av tann, krone og rot:
  - L: lengde av tann.
  - L1: kronelengde.
  - L2: rotlengde, øvre.
  - L3: rotlengde, nedre.
- Bredder av pulpa:
  - $w_{1_1} - w_{1_4}$ : Bredder av pulpa i roten til venstre. Bredden er beregnet 4 steder. Den nederste breddelinjen går mellom de nederste punktene på de to innerste konturene; og alle de fire linjene er parallelle og jevnt fordelt langs den vertikale delen av den innerste konturen.
  - $w_{2_1} - w_{2_4}$ : Bredder av pulpa i roten til høyre.
- Arealer:
  - A1: areal av tannsubstans (emalje, dentin) for hele tannen.
  - A2: areal av pulpa for hele tannen.
  - a1: areal av tannsubstans i røttene (del av A1 under den oransje linjen).
  - a2: areal av pulpa i røttene (del av A2 under den oransje linjen).



Figur 10: Lengder, bredder og arealer beregnet fra tannen.

Disse målene er absolutte og vil derfor kunne variere fra person til person. For å kunne se på sammenhenger med alder, ønsker vi ideelt sett egenskaper som bare varierer med tannens utviklingstrinn og ikke med person. Fra disse avstandene og arealene har vi derfor beregnet følgende relative mål (egenskaper), se også Tabell 1.

- Lengder:  $L$ ,  $(L_2+L_3)/L_1$ ,  $L_3/L$ ,  $L_2/L$ .
- Arealer:  $a_1/a_2$ ,  $A_1/A_2$ ,  $A_1/a_2$ .
- Arealer vektet med lengder:  $(L_2+L_3)a_1/a_2$ ,  $(L_2+L_3)A_1/A_2$ ,  $(L_2+L_3)A_1/a_2$ .
- Bredder:  $w_{1_4}/w_{1_1}$ ,  $w_{2_4}/w_{2_1}$ .
- Bredder og arealer:  $(w_{1_1}+w_{2_1})/A_1$ ,  $(w_{1_1}+w_{1_4}+w_{2_1}+w_{2_4})/A_1$ ,  $(w_{1_1}+w_{2_1})/a_1$ ,  $(w_{1_1}+w_{1_4}+w_{2_1}+w_{2_4})/a_1$ .

I en eventuell hovedstudie der vi ønsker å verifisere sammenheng mellom mål og alder for et større datasett, kan det være aktuelt også å inkludere flere andre typer mål. De kan enten være basert på de avstandene og arealene vi alt har definert, eller de kan være basert på nye avstander og arealer.

### **1.5.2.2 Strategier for estimering av alder fra stadier og/eller målinger**

Den mest brukte metoden for å estimere alder består av først å bestemme utviklingsstadium (se Figur 1 og 2), og deretter finne alder ved oppslag i tabeller som knytter utviklingsstadier til alder. I dag bestemmes utviklingsstadiet manuelt ved visuell analyse av tannen i røntgenbildet.

Ved siden av et estimat for alder, kan det også være viktig å kunne tallfeste hvor usikkert det beregnede estimatet er. Gitt stadiet, finner man i dag denne informasjonen i tabellene. Et problem med usikkerheten ( gjerne angitt som standardavvik) gitt i disse tabellene, er at den ikke sier noe om hvor sikker selve klassifikasjonen til et stadium er. I tillegg er det slik at en ved gradering av en tann inn i utviklingsstadier, kanskje vil kunne se om tannen er tidlig eller sent i et stadium. Denne typen informasjon er det med dagens metoder imidlertid vanskelig å få med videre i prosessen. Dette kan bety at en får dårligere estimater med større usikkerhet enn ved bruk av strategier som forsøker å unngå dette tapet av informasjon.

I Thevissen et al. (2009) brukes, som alternativ til tabeller, en regresjonsmodell for å predikere alder fra stadier, der stadiet for en eller flere av de fire visdomstennene blir brukt som forklaringsvariable. Denne strategien gir imidlertid samme problem som bruk av oppslagstabeller, ved at man heller ikke her får håndtert usikkerheten som skyldes selve klassifikasjonen på en god måte. I artikkelen viser de for øvrig også at man ved bruk av denne regresjonsmodellen får en systematisk overestimering av alderen til unge individer. For å unngå denne skjevheten foreslår de å bruke en Bayesiansk modell. Denne modellen viser seg å være bedre når det gjelder å skille mellom individer over og under 18 år.

Bruk av metoder som finner alder direkte fra beregnede egenskaper (mål), f.eks. regresjon, er nok likevel den framgangsmåten som har størst potensiale. Slike strategier gir større mulighet for å estimere usikkerhetene i regresjonsestimatene for alder, samtidig som de bruker mye mer av den informasjonen vi har om tannen til å estimere både alder og usikkerhet enn det en gjør ved å gå veien om stadier. Dette forutsetter imidlertid at det er mulig å beregne mål og egenskaper som henger godt sammen med tannens utvikling. Regresjonsmodeller for å predikere alder direkte fra mål basert på ulike lengder av tennene, er beskrevet og benyttet bl.a. i Thevissen et al. (2011) og i Cameriere et al. (2006).

Denne typen strategier gir også mulighet for å kombinere flere mål og egenskaper. Selv om hvert mål for seg ikke viser klar nok sammenheng med alder, kan målene til sammen ha en klar sammenheng. Det kan for eksempel være slik at en gruppe mål skiller godt mellom noen stadier/alderstrinn, mens mål fra en annen gruppe skiller godt mellom andre stadier/alderstrinn. Da vil det være viktig å få med mål fra begge disse to gruppene. Samtidig bør en ikke inkludere for mange mål. Det kan føre til overtilpassing av modellen slik at man får dårligere resultater enn man ville fått med en modell basert på færre mål. Dersom en har mange potensielt interessant mål, bør en derfor finne det utvalget som kan gi best mulig

prediksjon. Dette kan man finne ut automatisk ved å bruke metoder for variabelseleksjon. Bruk av regresjonsmodeller gjør det også mulig å kombinere mål beregnet fra tenner med helt andre typer mål fra andre analyser (høyde, vekt, håndrøngten osv.) om dette er tilgjengelig for samme individ. Modellene vil da også kunne ta hensyn til for eksempel at målingene er innhentet på ulike tidspunkter.

Det fins ulike typer regresjonsmodeller. Den enkleste er den lineære regresjonsmodellen. Her antar man at det er en lineær sammenheng mellom forklaringsvariablene (målene) og responsen (alder). Det fins også mange typer regresjonsmodeller der det tillates ikke-lineære sammenhenger mellom forklaringsvariablene og responsen. Dersom det er slike ikke-lineære sammenhenger mellom målene og alder, blir det feil å velge en lineær modell. Da vil man for eksempel kunne få resultater som viser tendenser til underestimering i en ende av skalaen og overestimering i den andre, slik det har vært observert i noen studier. Før man avgjør hvilken regresjonsmodell man skal bruke, er det derfor viktig å gjøre en deskriptiv dataanalyse for å finne den modellen som best passer til dataene.

For å vurdere hvilken metode som er best, kan en se på hvilken metode som predikerer alderen best. Siden målet med aldersvurderingen ofte også er å finne ut om en person er over eller under en gitt aldersgrense, kan det i tillegg være interessant å se på hvilken metode som gjør minst feil når det gjelder å avgjøre dette. Generelt sett bør en, som påpekt av Ferrante og Cameriere (2009), bruke samme grad av omhu i valget av statistiske metoder for dataanalysen som ved valget av biologiske metoder for aldersvurderingen.

## 1.6 Eksperimenter, resultater og diskusjon

I denne pilotstudien har vi testet ut metodene beskrevet i avsnitt 1.5.1 på et lite datasett bestående av syv bilder av visdomstenner plukket ut fra syv ulike panoramabilder (se Figur 4). Pga. begrenset tid har vi ikke utviklet programvare for å gjøre dette automatisk, men har istedenfor plukket ut subbildene med visdomstenner manuelt. Av samme grunn har vi også laget det ytre omrisset av tannen manuelt. Som nevnt i tidligere kapitler fins det metoder beskrevet i litteraturen som kan brukes for å automatisere prosessen med å identifisere tennene og å finne omrisset av dem. Den videre prosessen med å segmentere bildene ble gjort automatisk med en spesialutviklet algoritme ut fra noen få brukerdefinerte punkter i nærheten av konturene som skulle finnes (se avsnitt 1.5.1). Resultatene av dette er vist i Figur 8. For hvert av bildene beregnet vi målene som beskrevet i avsnitt 1.5.2.1. Målene er vist i Tabell 1.

Utvalget av bilder er som nevnt lite. Totalt hadde vi 30 bilder. Et subsett av disse der rotutviklingen av visdomstennene var tydelig i gang og der den automatiske segmenteringen var vellykket ble valgt ut. Da utvalget ble gjort var alderen ukjent, men det viste seg da alderen ble framlagt at utvalget representerte et relativt begrenset aldersspenn (se nederste rad i Tabell 1). Spesielt viste det seg at det var liten variasjon i alder på kasus 12, 23, 10 og 14 som bare varierte fra 18,1 til 18,5 år. Det eldste kasus var kasus 1 som stort sett alle metoder plukket ut til å være den eldste, men hvor det i virkeligheten bare var snakk om noen måneders forskjell fra de fire andre. Kasus 30 var 2 år yngre enn de andre kasus i dette utvalget og ble også klart identifisert som det med de fleste metodene. Kasus 8 ligger i alder mellom kasus 30 og de andre, men her har få metoder plukket opp at kasus 8 er i underkant av

17 år. Det eneste unntaket er det arealbaserte målet A1/A2 som faktisk rangerer denne riktig. Grunnen til at kasus 8 rangeres feil er at denne viser en rotutvikling som er kommet lenger enn det en forventer i denne aldersgruppen. Denne representerer sånn sett den biologiske variasjonen som naturlig finnes i befolkningen og som kan være vanskelig å plukke opp med alle metoder.

Rotutviklingen på tennene ble vurdert på to måter: 1. Gradering etter tegninger, 2. objektive mål på røntgenbildene. For vurdering og sammenligning av de ulike graderingene og bildebaserte målene har vi plottet graderingen og målene mot reell alder, der vi har valgt å se på disse både med og uten kasus 8 (se Figur 11 og Figur 12).

Den manuelle gradering ble utført etter to tabeller (Demirijan og Gleiser og Hunt) av to observatører (odontologer). Resultatet av graderingen er presentert nederst i Tabell 1 og viser tydelig interobservatørvariasjon og variasjon i graderingene. Dette var forventet og faller sammen med resultater fra tidligere studier. Graderingen fra de to observatørene er sammenfallende unntatt for nr. 30 (Demirijan), og nr. 23 og 10 (både Demirijan og Gleiser og Hunt). For nr. 23 er det to graderingers forskjell. Det er overraskende at det er så stor forskjell, men viser godt hvor subjektiv slik gradering kan være.

Bildnr.	Verdi						
	30	8	14	12	10	23	1
Mål/ tann	48	48	48	38	38	38	38
L	210	286	276	361	280	232	272
(L2+L3)/L1	1.00	1.8	1.36	0.97	1.11	1.37	1.52
L3/L	0.37	0.45	0.47	0.43	0.45	0.44	0.44
L2/L	0.13	0.2	0.11	0.07	0.08	0.14	0.16
a1/a2	0.55	1.29	1.17	0.59	1.07	1.44	1.87
A1/A2	2.62	3.14	3.25	3.43	3.86	4.53	4.48
A1/a2	4.51	6.97	4.81	5.08	6.03	8.29	9.99
*(L2+L3)a1/a2	0.58	2.37	1.87	1.04	1.58	1.93	3.06
*(L2+L3)A1/A2	2.75	5.78	5.17	6.11	5.67	6.08	7.35
*(L2+L3)A1/a2	4.73	12.83	7.65	9.04	8.86	11.11	16.39
w1 <sub>4</sub> /w1 <sub>1</sub>	0.75	1.00	0.64	1.32	0.65	1.44	1.11
w2 <sub>4</sub> /w2 <sub>1</sub>	0.44	0.87	1.41	0.83	0.64	0.73	0.86
** (w1 <sub>1</sub> +w2 <sub>1</sub> )/A1	3.57	1.18	1.44	1.69	1.99	1.77	0.83
** (w1 <sub>1</sub> +w1 <sub>4</sub> + w2 <sub>1</sub> +w2 <sub>4</sub> )/A1	5.67	2.28	3.08	3.43	3.26	3.62	1.61
*(w1 <sub>1</sub> +w2 <sub>1</sub> )/a1	2.93	0.64	0.59	1.46	1.11	1.01	0.44
*(w1 <sub>1</sub> +w1 <sub>4</sub> +w2 <sub>1</sub> +w2 <sub>4</sub> )/a1	4.66	1.23	1.26	2.97	1.83	2.08	0.86
Gleiser & Hunt Exam 1	R1/4	Rc	Rc	R1/2	Rc	Ac	Ac
Gleiser & Hunt Exam 2	R1/4	Rc	Rc	R1/2	R3/4	R1/4	Ac
Demirijan Exam 1	F	G	G	F	G	H	H
Demirijan Exam 2	E	G	G	F	F	F	H
Alder (år)	16 – 2	16 – 11	18 – 1	18 - 3	18 - 4	18 - 6	18 - 9

Tabell 1: Bildene (kolonnene) i tabellen er her ordnet etter kronologisk alder. Denne var for øvrig ikke kjent da målene ble regnet ut eller da den manuelle graderingen ble gjort. Merk at verdiene merket med \* er ganget med eller delt på 100, og verdiene merket med \*\* er ganget med 1000.

Øverst i Figur 11 og Figur 12 er de manuelle graderingene plottet mot alder. Trinnene i graderingene er tilordnet tall i henhold til rekkefølgen på de definerte stadiene i hver av metodene. Nivået på kurvene vil derfor ikke samsvare med alderen, men ved riktig gradering vil hovedtrenden samsvare. Vi viser graderingene på denne måten for lettere å kunne sammenligne disse med de ulike bildebaserte målene.

De bildebaserte beregningene kan deles i tre hovedgrupper: lengdemål, breddemål og arealmål. Siden absolutte mål er forventet å være ganske avhengig av individ, har vi sett på forholdstall.

For lengdemålene ser vi som for de fleste andre mål og graderinger at kasus 8 ikke blir riktig innplassert. Hvis vi ser bort fra dette (Figur 12), ser vi at L3/L og L2/L (nedre og øvre rotlengde i forhold til total lengde) totalt sett viser liten variasjon med alder eller det er ikke noe gjenkjennelig mønster med økende alder og disse er nok derfor heller ikke egnet til aldersvurderinger. Plottet for  $(L2+L3)/L1$  (rotlengde i forhold til kronelengde) derimot viser noe av den samme trenden og variasjonen som de manuelle graderingene, selv om det ikke ser ut til å kunne gi noe særlig utover dette. Dette målet samsvarer for øvrig med et av de som kommer nærmest de manuelle graderingene i kvalitet i den større studien til Thevissen et al. fra 2011, så sånn sett stemmer disse observasjonene godt overens.

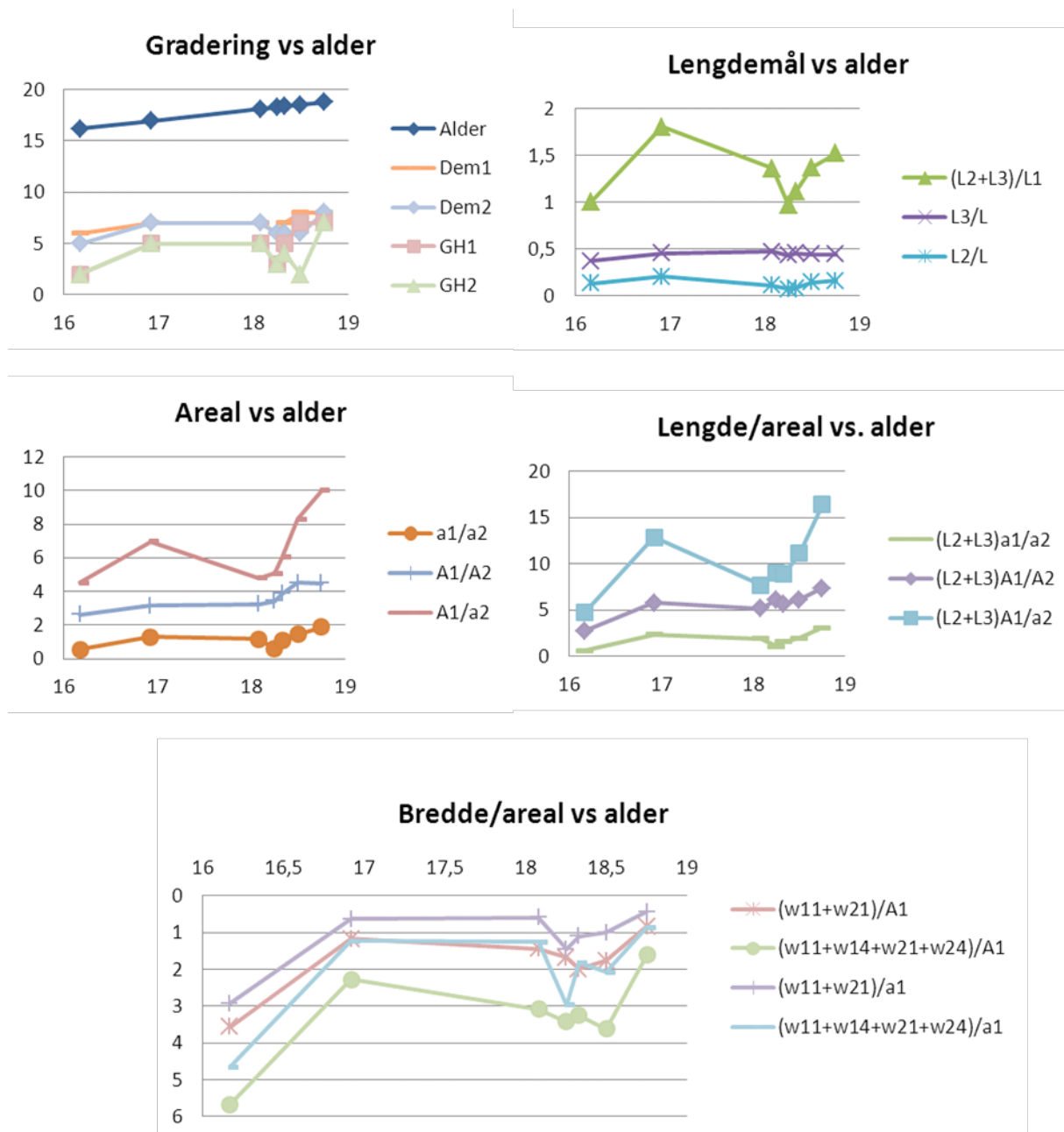
De relative breddemålene ( $w_{1_4}/w_{1_1}$  og  $w_{2_4}/w_{2_1}$ ) er ment å representere endring i bredde av rotpulpa ned mot rotspissen som vurderes ved gradering inn i de siste stadiene av rotutviklingen. Denne bredden er forventet å smalne inn slik at forholdet mellom den øverste og den nederste bredden er forventet å øke med alder. En slik trend er ikke klar av våre målinger, og slik sett ser disse ikke ut til å kunne bidra i aldersvurderingen. Disse breddene er imidlertid små, slik at små variasjoner i målepunktet lett kan påvirke målingene og gjør dem lite robust. Et mer robust alternativ kunne vært å se på forhold mellom arealer avgrenset av disse breddelinjene.

Arealmålene er basert på forholdet mellom areal av hardvev (tannsubstans) og bløtvev (pulpa) for ulike deler av visdomstannen. Forholdet mellom disse arealene for hele tannen ( $A1/A2$ ) viser en jevnt økende trend med alder, men som kanskje avtar noe etter hvert. Dette er for øvrig det eneste målet som klarer å innplassere kasus 8 riktig i rekkefølgen. For  $a1/a2$  (forholdet tannsubstans/bløtvev i røttene) er trenden mye av den samme som for graderingene. Forholdet mellom totalt areal av tannsubstans og areal av rotpulpa ( $A1/a2$ ) viser derimot en klar stigning med økende alder over 18 år. Noen av disse arealbaserte forholdstallene kunne det være interessant å teste ut på et større datasett. Dette kan representere en ny måte å se på aldersvurderinger på og de varierer noe fra de hovedsak avstandsbaserte målene som tidligere er brukt.

I tillegg til målene som er basert bare på lengde, bredde eller areal, har vi også sett på forholdstall mellom disse målene. Her viser forholdene mellom bredde og areal mye av den samme trenden som graderingene. Forholdene mellom lengder og areal viser også mye av det samme som areal alene, men kombinasjonen skiller den yngste bedre fra de andre. Spesielt ser vi at forholdet mellom lengden av hele pulpa og arealet av pulpa øker med alder. Dette er interessant og samsvarer med tidligere kunnskap om at bredden av pulpa reduseres ettersom tannen vokser. Det kan hende at det økende forholdstallet som observeres i denne

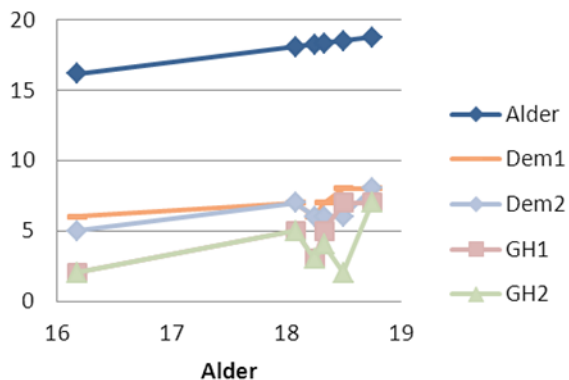
pilotstudien bare er relevant for de aller siste årene av rotutviklingen. Dette kan likevel være interessant ettersom dette er stadiene som også er vanskeligst å gradere manuelt.

Kort oppsummert viser altså flere av målene noe av den samme trenden som graderingene, men uten å bidra med noe ekstra. De arealbaserte målene representerer imidlertid noe nytt og ser samtidig ut til å kunne ha noen interessante kvaliteter som kan være verdt å se nærmere på. Det skal forøvrig fremheves at utvalget er svært lite og at sammenfallende funn mellom alder og ulike mål derfor kan være tilfeldig. Aldersspennet i studien har også vært begrenset. Det vil derfor være behov for å studere disse målene på et mye større datasett for å kunne trekke noen endelige konklusjoner.

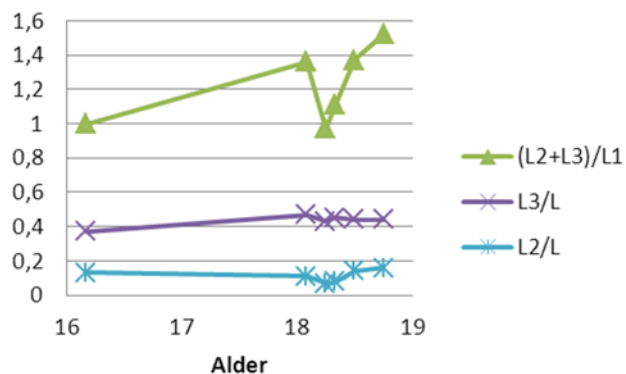


Figur 11: Plott av graderinger og mål mot alder for alle 7 bildene.

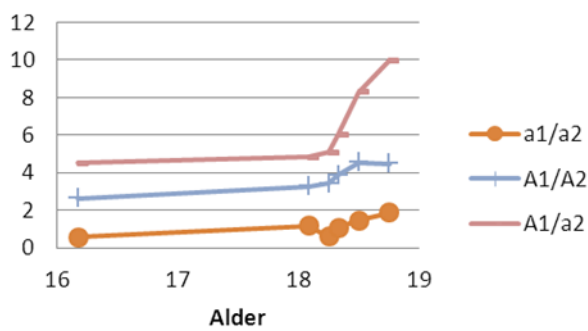
### Gradering vs alder



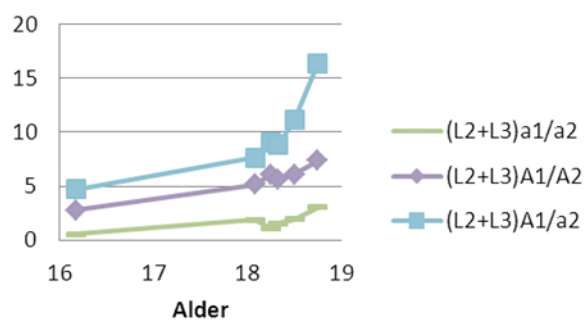
### Lengdemål vs alder



### Areal vs alder



### Lengde/areal vs. alder



### Bredde/areal vs alder



Figur 12: Plott av graderinger og mål mot alder for alle bilder unntatt nr. 8.



## 1.7 Vurdering av metoder

Dagens aldersvurdering basert på tannrøntgen som skjer ved gradering av utviklingen av roten etter tegninger eller fotografier og aldersvurdering basert på tabeller, er en enkel måte å utføre aldersvurdering på. Det trengs liten opplæring og lite teknisk utstyr utover det som likevel er tilgjengelig i en tannlegeklinikk. Graderingen er imidlertid subjektiv og det er både inter- og intraobservatørvariasjoner i graderingene slik som også vist i dette prosjektet. Dette gjør at aldersvurdering kan bli subjektiv. (Se ellers Olze et al. (2005) om interobservatør-variasjon i de to graderingssystemene.) Bildebaserte mål som studert her antas å bli mer objektive og gi mindre interobservatør-variasjon. Dette krever at den nødvendige input fra brukeren er enkel å angi og ikke innfører andre nivåer av usikkerhet. Samtidig må operasjonene være enkle og raske å utføre. Vi mener de foreslåtte metodene har disse egenskapene.

Et annet viktig aspekt for at denne typen metoder skal kunne bli nyttige for praktisk bruk, er at de må være robuste nok til at aldersvurderinger kan gjennomføres på en tilsvarende andel av røntgenbilder som dagens manuelle gradering kan utføres på. For å avgjøre dette er det behov for både videreutvikling av de foreslåtte bildeanalysemetodene og uttesting på et større materiale. Det mest avgjørende er likevel å verifisere at de beregnede målene henger sammen med tenneses utviklingsstadier. Her er det derfor behov for omfattende kliniske studier for å finne ut om det er faktiske sammenhenger mellom nye typer av mål og alder.

## 2 Analyse av håndrotsrøntgen

Håndrotsrøntgen benyttes også til aldersvurdering og gjerne i kombinasjon med en vurdering basert på tannrøntgen. Denne analysen skjer noe tilsvarende tannanalysen, gjennom visuell sammenligning med et bildeatlas som beskriver stadier i utviklingen knyttet til alderstrinn (Greulich og Pyle, 1959). Utviklingstrinnene baseres på graden av sammenvoksing av ben i håndroten. Håndrotsrøntgen har ikke vært fokusert i denne studien. Her fins det imidlertid studier der det har vært gjort forsøk på å løse dette gjennom bruk av bildeanalyse. Thodberg et al. (2009) har blant annet brukt aktive konturmodeller til å avgrense og beskrive håndrotsbena. Dette arbeidet har resultert i systemet BoneXpert.

[<http://www.bonexpert.com/>]

## 3 Oppsummering og konklusjon

Hensikten med denne pilotstudien har vært å vurdere hvordan og i hvilken grad verktøy basert på automatisk bildeanalyse kan være til hjelp ved aldersvurderinger med tanke på å oppnå mer repeterbare, objektive og kvantitative målinger. Fokus har vært på tannrøntgen og spesielt på visdomstenneses rotutvikling, som er mest sentral for den aldersgruppen vi har sett på her.

Gjennom studien har vi vist at det bør være mulig å utvikle bildeanalysealgoritmer som gir en beskrivelse av tannen som gjør det mulig å trekke ut mål som kan ha en sammenheng med tannens utvikling. På et lite sett av bilder har vi vist hvordan en ved hjelp av en kombinasjon av

eksisterende algoritmer for aktive konturmodeller, enkel bruker-input og spesialutviklede kantbaserte algoritmer kan gjøre dette. Videreutvikling av metodene og uttesting på et større datasett er imidlertid nødvendig for å finne ut hvor robuste disse metodene vil være, dvs. hvor stor andel av tennene bildeanalysealgoritmene vil klare å lage en beskrivelse av.

Dagens manuelle tilnærming for aldersvurdering er basert på tannlegenes visuelle analyse og sammenligning med beskrivelser og maler for utviklingsstadier. En slik direkte bruk av maler i form av skisser eller bilder tror vi er vanskelig å kombinere med bildeanalyse. Dette skyldes at for de stadiene som kanskje er mest sentrale for den aktuelle aldersgruppen baserer graderingen seg på relativt små endringer i tannens rotspiss. Dette er et lite område av tannen som også er det området som gjerne er dårligst gjengitt i røntgenbildene. En mer automatisert bildebasert framgangsmåte mener vi derfor må baseres på sammenligning av mål og ikke stadier. Dette har dessuten noen fordeler ved at den gir bedre mulighet for å kvantifisere usikkerheten og en kaster bort mindre informasjon på veien. Det vil dessuten være mulig å kombinere flere typer av mål, som for eksempel har sin styrke for ulike stadier av tannens utvikling. Alt dette forutsetter likevel at en er i stand til å finne fram til gode mål som henger godt sammen med tannens utvikling.

Flere studier har tidligere vurdert bruk av mål, men de fleste har konkludert med at slike mål ikke gir noe utover dagens graderingsmetoder. Fordi målene har vært mer arbeidskrevende å finne, har da disse alternative metodene gjerne blitt forkastet. Bruk av mer automatiserte bildeanalysemetoder som foreslått her, kan imidlertid gjøre målene mindre arbeidskrevende å beregne samtidig som det gir muligheter for beregning av nye typer av mål. I denne studien har vi sett på noen ulike klasser av bildebaserte mål; lengdemål, breddemål og arealmål. Disse målene lar seg bestemme automatisk fra den bildebaserte segmenteringen. Metodene er testet ut og målene er beregnet på et lite datasett. I tillegg til dette er det på det samme datasettet gjort en manuell gradering i stadier basert på to metoder (Demirijan, Gleiser og Hunt). Graderingene er gjort av to uavhengige observatører.

Den manuelle graderingen av utviklingen av tannroten på visdomstennene viser stor interobservatørvariasjon, men på dette meget lille utvalget ser det ikke ut til at det er store forskjeller mellom de to graderingssystemene som er brukt i dette prosjektet. Av målene ser de arealbaserte spesielt interessante ut, og bruk av forholdstall mellom arealene eller forholdstall mellom lengdemål eller breddemål og areal kan indikere at dette gir bedre sammenfall med alder. De arealbaserte målene representerer også noe nytt ettersom disse ikke så lett kan beregnes manuelt og tidligere mål i stor grad har vært basert på lengder. I vår studie ser vi at lengdemål har en viss sammenheng med den manuelle graderingen, men at de arealbaserte målene ser bedre ut. Datasettet vi har sett på er likevel altfor lite til å kunne trekke noen endelige konklusjoner, så her er det nødvendig med grundige analyser på et mye større sett.

Tannlegenes vurderinger vil være subjektive og en vil derfor, som også observert i denne lille studien, få variasjon i graderinger avhengig av observatør. Ved å bruke mål som beregnes ved hjelp av bildeanalysealgoritmer kan en oppnå kvantitative og kontinuerlige observasjoner som også er mer objektive og repeterbare. Samtidig gir slike mål større muligheter for å kvantifisere usikkerheten. Fra denne studien ser arealbaserte mål ut til å kunne ha noen interessante kvaliteter. For å verifisere dette er det imidlertid nødvendig med studier av mye større datasett for å se på sammenhengen mellom alder og mål og avgjøre at sammenfallende funn mellom alder og ulike mål ikke er tilfeldig. Det er også nødvendig med videreutvikling av de foreslåtte segmenteringsalgoritmene og uttesting på et større datasett for å avgjøre om de vil være robuste nok for bruk i praktisk aldersvurdering.

## 4 Referanser

- [1] R. Cameriere, L. Ferrante, M. Cingolani. Age estimation in children by measurement of open apices in teeth. *International Journal of Legal Medicine*, 120: 49-52. 2006.
- [2] H. Chen. Automatic Forensic Identification Based on Dental Radiographs. PhD thesis, Michigan State University, 2007.
- [3] H. Chen, A. Jain. Active Shape Model-Based Tooth Contour Extraction for Human Identification. Technical report, Michigan State University:TR/MSU-CSE-07-17, 2007.
- [4] E. Cunha, E. Baccino, L. Martrille, F. Ramsthaler, J. Prieto, Y. Schuliar, N. Lynnerup, Cattaneo. The problem of aging human remains and living individuals: a review. *Forensic Sci Int* 193, 1-13. 2009.
- [5] A. Demirijan, H. Goldstein, J.M. Tanner. A new system of dental age assessment. *Hum Biol* 45, 211-227. 1973.
- [6] K.S. Dhanjal, M.K. Bhardwaj, H.M. Liversidge. Reproducibility of radiographic stage assessment of third molars. *Forensic Science International*, 2006.
- [7] L. Ferrante, R. Cameriere. Statistical methods to assess the reliability of measurements in the procedures for forensic age estimation. *International Journal of Legal Medicine*. Vol 123. (2009).
- [8] I. Gleiser, E. E. Hunt. The permanent mandibular first molar: its calcification, eruption and decay. *Am J Phys Anthropol* 13, 253-283. 1955.
- [9] W.W. Greulich, S.I. Pyle. Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Hand and Wrist. Stanford University Press, Stanford, CA. 1959.
- [10] K. Haavikko. The formation and alveolar and clinical eruption of the permanent teeth, an orthopantomograph study. *Proc. Finn. Dent. Soc.* 66, pp. 104-170. 1970.
- [11] L. Kullman, G. Johanson, L. Åkesson. Root development of the lower third molar and its relation to chronological age. *Swed Dent J*. Vol:16(4):161-7. 1992.
- [12] L. Kullman, G. Tronje, A. Teivens, A. Lundholm, Methods of reducing observer variation in age estimation from panoramic radiograph. *Dentomaxillofac. Radiol.* 25, 173-178. 1996.
- [13] H. M. Liversidge. Timing of human mandibular third molar formation. *Annals of Human Biology*, 35, May-June 2008.
- [14] H. Mörnstad, V. Staaf, U. Welander. Age estimation with the aid of tooth development: a new method based on objective measurements. *Scand J Dent Res* 102, 137-143. 1994.
- [15] A. Olze, D. Bilang, S. Schmidt, K-D. Wernecke, G. Geserick, A. Schmeling. Validation of common classification systems for assessing the mineralization of third molars. *Int. Journal of Legal Medicine*, Vol. 119, No. 1, pp. 22-26, 2005.
- [16] G.J. Roberts, S. Parekh, A. Petrie, V.S. Lucas. Dental Age Assessment (DAA): A simple method for children and emerging adults. *Br. Dent. J.* 204 (4), 2008.
- [17] A. Schmeling, W. Reisinger, G. Geseric, A. Olze. Age estimation of unaccompanied minors. Part I. General considerations. *Forensic Sci Int* 159S, S61-S64. 2006.

- [18] P.W. Thevissen, S. Fieuws, G. Willems. Human dental age estimation using third molar developmental stages: does Bayesian approach outperform regression models to discriminate between juveniles and adults? *Int J Legal Med*, 124(1):35-42, 2009.
- [19] P.W. Thevissen, S. Fieuws, G. Willems. Third molar development: measurements versus scores as age predictor. *Archives of Oral Biology*, 2011.
- [20] H. H. Thodberg, S. Kreiborg, A. Juul, K. Damgaard Pedersen: The BoneXpert Method for Automated Determination of Skeletal Maturity. *IEEE Trans. Med. Imaging* 28(1): 52-66. 2009.