

УДК 630\*52+630\*587/588

## ТРЕСТИМА – ЦИФРОВЫЕ ФОТОГРАФИИ ДЛЯ ТАКСАЦИИ ЛЕСА

© 2014 г. Т. Роувинен

Компания «Трестима Ою»

Финляндия, 33720, Тампере, ул. Хермианкату, 6-8 Д

E-mail: timo.rouvinen@trestima.com

Поступила в редакцию 15.09.2014 г.

Повышение эффективности работы по сбору данных в лесу является одним из краеугольных вопросов лесной таксации и лесоустройства. Мобильные технологии создают уникальную возможность для решения этой задачи, а также для повышения точности измерений, обеспечения объективности данных и независимого контроля результатов. Технология Трестима основывается на получении таксационных характеристик древостоя, таких как площадь сечений, диаметр стволов, высота деревьев и породный состав, по фотографиям древостоя и модельных деревьев, сделанным мобильным телефоном. Обработка фотографий осуществляется автоматически, а в случае необходимости – с помощью оператора, что позволяет автоматизировать все последующие расчеты. Функции электронного компаса и геопозиционирования, встроенные в современные мобильные устройства, позволяют регистрировать направление съемки и точные координаты снимка таким образом, что данные измерения древостоя на снимке однозначно соответствуют избранному местоположению. Результатом работы сервиса являются отчеты о запасе древесины, площади сечений, среднем диаметре, средней высоте, количестве стволов и распределении диаметров стволов по ступеням толщины. Отчет, подготавливаемый для каждого древостоя, содержит стандартную ошибку, а также доверительный интервал, в который с 95%-й вероятностью попадает результат измерений и оценки. По площади сечений, среднему диаметру и средней высоте можно рассчитать запас древесины и количество стволов на конкретном участке. Отчетность, генерируемая Трестима, может быть легко дополнена производными параметрами так же, как любая из применяемых формул может быть легко модифицирована или изменена в соответствии с потребностями (например, в зависимости от конкретного лесотаксационного района). Одной из ключевых особенностей технологии Трестима является и то, что каждое измерение сопровождается данными о географических координатах, т. е. место каждого измерения может быть отображено на карте, могут быть проанализированы маршрут и покрытие рассматриваемой площади.

**Ключевые слова:** таксация леса, измерения и оценка лесных ресурсов при помощи мобильного телефона, технология Трестима.

### ВВЕДЕНИЕ

В 2012 г. компания Трестима Лтд. (Финляндия) разработала и с тех пор совершенствует систему, которая позволяет оценивать запасы древесины с помощью фотографии. Принцип работы системы довольно прост: программное обеспечение Трестима – это приложение для мобильного телефона, которое позволяет делать фотоснимки леса, служащие основой для расчета его характеристик. Фотографии обрабатываются в облачном сервисе, а в случае необходимости – с

помощью оператора. Результатом обработки фотографий древостоя являются набор измерений и отчет, содержащий данные о запасе древесины, а также о каждом отдельно выполненном измерении. При наличии Интернет-соединения результаты возвращаются на телефон в режиме реального времени. Фотографии, а также все результаты измерений сохраняются в облачном сервисе для последующего контроля. Приложение позволяет определять древесную породу, измерять площадь сечения, диаметр, а также высоту ствола дерева. Таким образом, отчет содер-

жит всю необходимую информацию для подсчета запаса древесины, включая оценку доли выхода пиловочника. Приложение позволяет получать и другую важную информацию о лесе. Например, базовая версия продукта позволяет регистрировать информацию по отдельным породам (диаметр, высоту), а также текстовые данные. Приложение разработано для существенного облегчения работ по сбору данных в лесу.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

**Эффективная оценка площади сечений древостоя.** Более 60 лет полнота древостоя (сумма площадей сечений) измеряется реласкопом (Järvis, 2010). Реласкоп – довольно простое устройство с прорезью определенного размера, прикрепленное к короткой штанге или цепочке. Проводящий измерения специалист должен посмотреть через прорезь и посчитать все деревья, которые отвечают определенному критерию.

Существует довольно много методов лесных измерений. В Финляндии широко применяется способ воздушного лазерного сканирования (Peuhkurinen et al., 2008; Holorainen et al., 2011; Melkas et al., 2014), однако постоянно идет поиск методов, которые смогут обеспечить повышение скорости и точности измерений. При проведении измерений, даже в случае воздушного лазерного сканирования, наземная проверка является обязательным условием (Holorainen, 2011).

При применении технологии Трестима эквивалентом измерения площади сечений является горизонтальный снимок древостоя, сделанный мобильным телефоном. Обычно классическая реласкопическая площадка закладывается путем оборота на 360 градусов. Измерение площади сечений при помощи Трестима в зависимости от свойств фотокамеры мобильного телефона покрывает порядка 70 градусов. Для того чтобы обеспечить точный результат при применении различных моделей устройства, каждая поддерживаемая модель телефона предварительно калибруется.

Измерение площади сечений при помощи Трестима основано на принципе измерений реласкопом, лишь с той разницей, что Трестима применяет бесконечное число реласкопических измерений, что обеспечивает высокую точность результата, в том числе в случае, когда площадь сечения небольшая, т. е. меньше 10 м<sup>2</sup>/га.

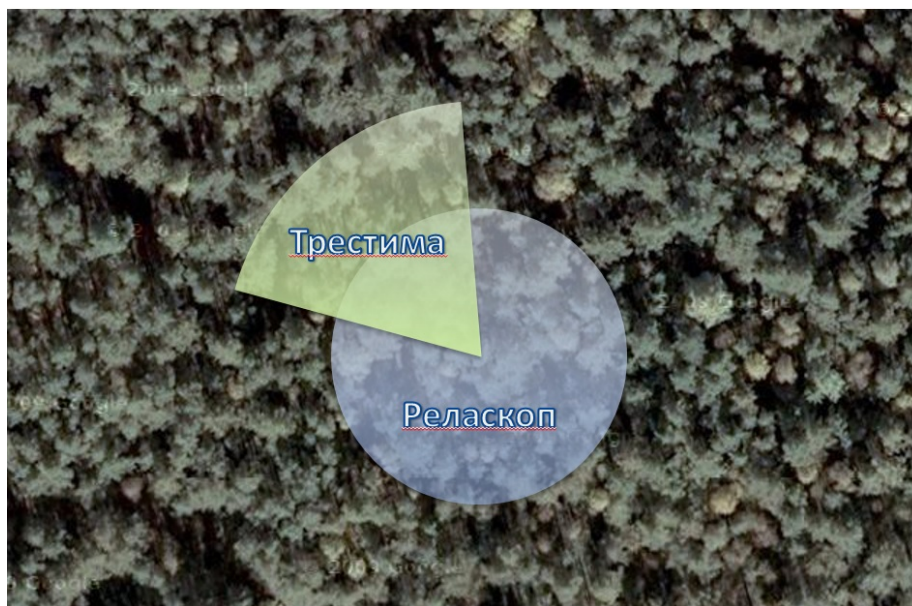
Отличие измерения площади сечений при помощи Трестима от используемой для этого реласкопической площадки иллюстрирует рис. 1.

Технология Трестима в отличие от использования реласкопа позволяет измерять деревья, стоящие в глубине древостоя, тогда как традиционное реласкопическое измерение ограничено размером его прорези.

Даже если одно измерение Трестима не охватывает столько же деревьев, сколько покрывается реласкопом, время, требуемое для проведения одного измерения при помощи Трестима, несоизмеримо меньше (Kangas et al., 2002). Кроме того, не требуется времени для записи и сохранения полученных данных, так как вся необходимая информация регистрируется в момент съемки, а в последующем передается и сохраняется в облачном сервисе автоматически. Никаких других операций выполнять не требуется, так как вся необходимая информация для расчета площади сечений, объема, породного состава и распределения диаметров содержится в фотографиях.

Так же, как и при использовании реласкопа, высокая точность оценки полноты древостоя по технологии Трестима достигается путем проведения достаточного количества измерений на соответствующей площади. В однородных по составу и структуре древостоях требуется меньшее количество измерений, в то время как в смешанных и со сложным строением – большее их количество.

Несмотря на то что проведение измерений (по сути – фотографирование при помощи Трестима) – весьма простая процедура, некоторый опыт измерения площади сечений будет полезен, так как съемку целесообразно производить в местах, которые лучшим образом представляют древостой.



**Рис. 1.** Измерения площади сечений стволов по технологии Трестима и методом закладки реласкопической площадки (схематично).

Измерение выполнено 26.06.2014

Измеряемая территория 7.11 га

Образцы 149 шт.

Порода	G, м <sup>2</sup> /га	Стволы, шт./га	Стволы, шт.	Диаметр на высоте груди, см	Высота, м	Объем, м <sup>3</sup> /га	Объем, м <sup>3</sup>	Пиловочник, %
Ель	11.7	289	2053	23.5	19.1	104.6	743.5	60
Другое	0.9							
Осина	0.3	5	34	32.8	24.6	3.6	25.7	54
Сосна	11.2	164	1162	32.6	23.8	125.5	892.1	78
Береза	7.0	289	2052	18.3	19.8	62.3	443.0	24
Всего	31	746	5302	25.1	20.5	296.1	2104.2	57



Образец: ель: 2156, другое: 197, осина: 48, сосна: 1977, береза: 1312. Всего: 5689 шт.

Соотношения пород: ель: 37.7 %, другое: 2.7 %, осина: 1,1 %, сосна: 36.0 %, береза: 22.6 %.

Диапазон площади поперечного сечения с вероятностью 95 % 30.8–31.3. Стандартная ошибка: 0.4 %.

**Рис. 2.** Форма отчета Трестима.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Стандартная ошибка – индикатор качества измерений.** При проведении измерений и оценке запаса древостоя необходимо знать точность измерений, т. е. вероятность, с которой результат измерений и оценки находится в пределах определенных значений. Отчет, подготавливаемый для каждого древостоя, содержит стандартную ошибку, а также доверительный интервал, в который с 95%-й вероятностью попадает результат измерений и оценки. Пример отчета приведен на рис. 2.

Стандартная ошибка является индикатором для оценки качества измерений площади сечений. Отчет, доступный через Интернет-сайт, также содержит значения границ доверительного интервала, например 25.1–30.1 м<sup>2</sup>/га.

Кроме итогового отчета и стандартной ошибки технология Трестима обеспечивает возможность анализа сделанных измерений.

Зависимость площади сечений каждой из древесных пород от количества сделанных фотографий (измерений) иллюстрирует рис. 3. На рисунке видно, что результат оценки площади сечений существенно не изменяется после примерно шестидесятого измерения. Приведенные графики по породам могут быть использованы для оценки структуры древостоя.

Так, например, график, приведенный на рис. 3, показывает, что древостой, в котором проводились данные измерения, не является однородным по составу, так как результаты измерения по различным породам варьируют.

Одной из ключевых особенностей технологии Трестима является и то, что каждое измерение содержит данные о географических координатах, т. е. место каждого измерения может быть отображено на карте, а также проанализированы маршрут и покрытие рассматриваемой площади.

**Распределение деревьев по диаметрам стволов.** Данные о распределении деревьев по диаметрам стволов повсеместно применяются в Финляндии для прогнозирования роста леса и необходимых лесохозяйственных мероприятий. Преимущество использования данных о распределении деревьев по диаметрам стволов заключается в том, что

эффект от применения того или иного способа заготовки может быть смоделирован более точно, т. е. в соответствии с реальным состоянием и строением древостоя.

Распределение деревьев по диаметру ствола может быть сгенерировано несколькими способами: либо путем прогнозирования на основе средней высоты и диаметра, либо измерением каждого дерева по отдельности, либо с использованием данных лазерного сканирования (Rasinmäki et al., 2009).

Одно из направлений развития сервиса Трестима – это предоставление информации о распределении диаметров стволов на основе измерений площади сечения древостоя. При расчете площади сечения диаметры визуально зафиксированных стволов измеряются и сохраняются в базе данных. Основываясь на этой информации и дополнительных данных, полученных со снимка, можно определить диаметры с точностью до нескольких сантиметров. Таким образом, каждый снимок обеспечивает измерение нескольких стволов, а несколько снимков – диаметры десятков стволов в зависимости от полноты древостоя.

Одно из возможных ограничений – это горный, сильно расчлененный рельеф местности. Для такого рода площадей необходимо большее количество измерений, чтобы получить достаточное количество статистически достоверных данных для формирования распределения диаметров стволов, т. е. чем больше проведено измерений площади сечения, тем точнее распределение диаметров стволов и тем адекватнее и точнее оно описывает древостой.

Но поскольку данные распределения диаметров стволов вычисляются на основе измерений площади сечения, необходимо помнить, что стволы малого диаметра при этом, как правило, не учитываются.

На рис. 4 показан пример распределения диаметров стволов и средний диаметр по каждой породе.

На диаграмме видно, что сосна (желтый цвет) крупнее и старше, чем, например, ель (красный цвет). Диаграмма также дает представление о распределении древесных пород в древостое.

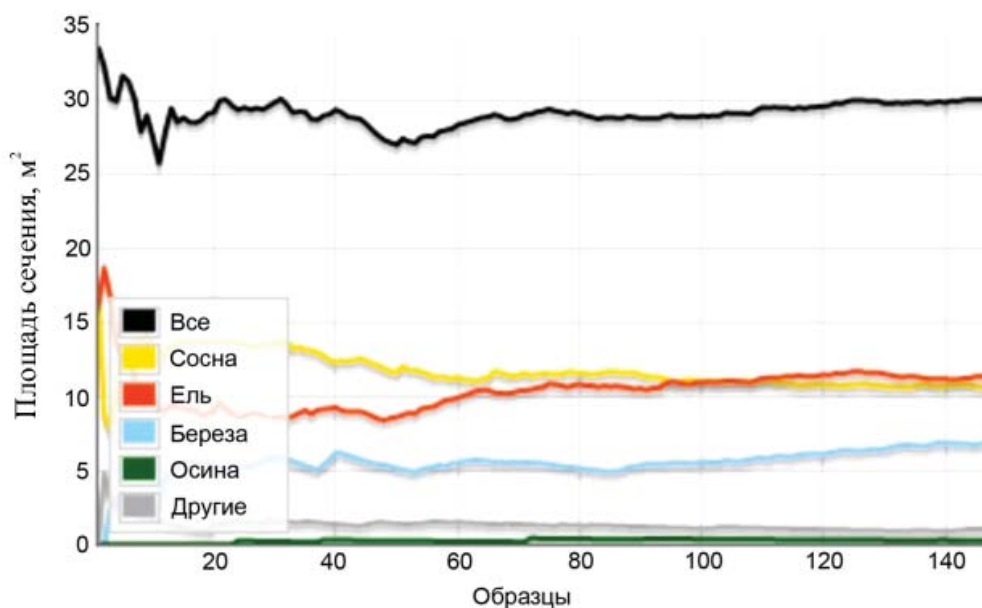


Рис. 3. Зависимость площади сечения от количества измерений по каждой породе.

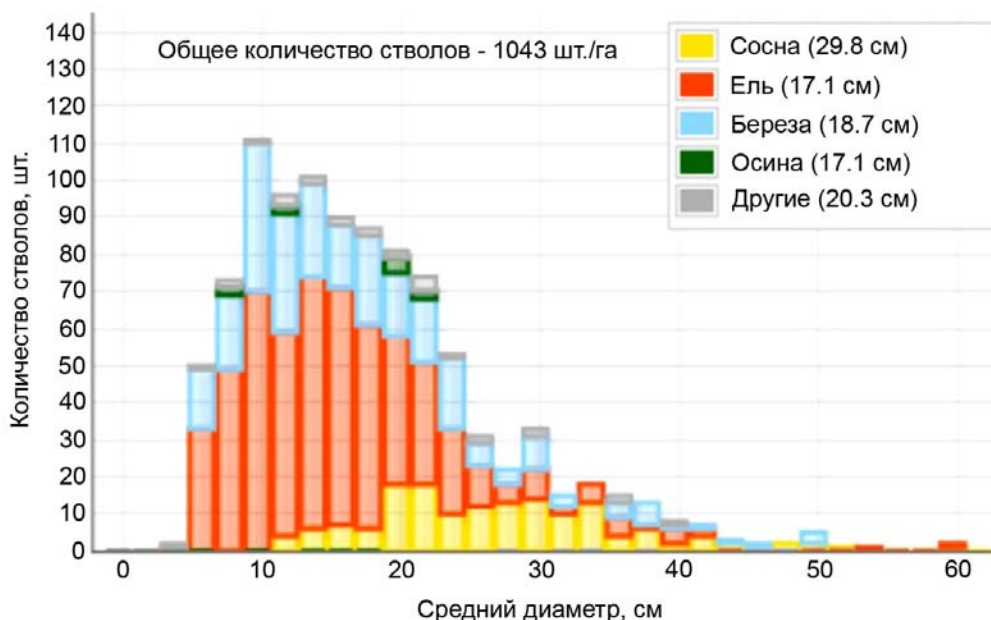


Рис. 4. Распределение деревьев по диаметрам стволов (отчет Трестима).

**Диаметр, высота и рассчитываемые переменные.** Для подсчета объема и количества стволов требуются данные о среднем диаметре и высоте по каждой породе отдельно. Приложение Трестима позволяет измерять диаметр ствола и высоту также путем простого фотографирования. Измерение диаметра осуществляется с близкого расстояния от ствола, а измерение высоты – с расстояния примерно 15 м от ствола дерева. При проведении съемки требуется, чтобы все дерево было видно в видоискателе камеры. Диаметр и высота измеряются путем фото-

графирования вертикально ориентированной камерой, тогда как площадь сечения – горизонтально ориентированной. В обоих случаях, т. е. при измерении диаметра ствола и высоты дерева, расчеты основываются на использовании мерной линейки, прикладываемой к стволу дерева, длина которой заранее известна. В расчет также принимаются свойства, геометрия сенсора и положение телефона, т. е. камеры (сенсора), в пространстве.

Зная площадь сечения, средний диаметр и среднюю высоту, можно рассчитать запас древесины и количество стволов на конкрет-



ном участке. Отчетность, генерируемая Трестима, может быть легко дополнена производными параметрами, как и любая из применяемых формул может быть легко модифицирована или изменена в соответствии с потребностями (например, в зависимости от конкретного лесотаксационного района). В случае необходимости отчеты могут быть пересчитаны по информации, находящейся в базе данных.

**Технологии передачи данных.** В течение последних нескольких лет развитие смартфонов сделало возможным появление такой технологии, как Трестима. Мобильное приложение Трестима использует камеру, передачу данных, встроенные сенсоры и систему геопозиционирования, т. е. большинство функций, доступных в современных телекоммуникационных устройствах. На данный момент поддерживаются мобильные платформы Windows Phone и Android.

Как отмечено ранее, каждая модель мобильного устройства должна быть откалибрована, поскольку не все устройства, функционирующие на указанных платформах, автоматически поддерживаются. При выборе модели мобильного устройства Трестима учитываются свойства камеры, время работы батареи, а также влаго- и пылезащищенность устройства.

Самые дешевые смартфоны для работы в лесу, как правило, не годятся. Подходящим вариантом являются устройства средней стоимостью 300–400 евро.

Приложение Трестима разработано, чтобы функционировать в режиме офф-лайн или в условиях соединения низкого качества. Высокоскоростное соединение обеспечивает получение результатов в режиме реального времени. В Финляндии мобильные сети 3G имеют широкое распространение (Finnish Communications..., 2014), поэтому даже в лесах северных территорий результаты можно получать в режиме реального времени. При наличии хорошего Интернет-соединения передача данных измерений занимает считанные секунды.

Интернет-сервис Трестима функционирует на базе Amazon Web Services (AWS) (Jinesh, Sajee, 2014). Такое решение гарантирует его

доступность для любого устройства, которое позволяет просмотр Интернет-страниц.

В Финляндии различные организации используют разнообразные базы данных и протоколы для обмена данными о лесе (Kosonen, 2013). Технология Трестима предлагает различные способы импорта и экспорта данных. В настоящее время поддерживаются форматы Excel и WebAPI, используемые в Финляндии. Трестима также поддерживает финский стандарт обмена данными о лесе – Metsätietostandardit (2014). Другие способы импорта и экспорта данных разрабатываются по требованию конкретного заказчика.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Необходимость сбора большого количества лесотаксационных данных и повышения их точности открывает возможности для разработки новых способов таксации. Измерения, проведенные в лесу по технологии Трестима, содержат большое количество информации, которая в последующем может быть проверена при помощи веб-интерфейса. Таким образом, принятие решений и назначение лесохозяйственных мероприятий могут быть перенесены в офис и проводиться там другим специалистом, а не тем, кто проводил полевые работы.

Экономия рабочего времени также приводит к существенному сокращению финансовых затрат. Например, одна и та же площадь может быть обследована за один день вместо двух, что является ключевой особенностью технологии Трестима.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Finnish Communications Regulatory Authority. Availability of high-speed broadband in Finland. Viestintävirasto. 2014. <https://www.viestintavirasto.fi/en/aboutthe-sector/supplyandpriceinformation/internet-services/availabilityofhighspeedbroadbandconnections.html>
- Holopainen M., Hyypä J., Vastaranta M., Hyypä H. Laserkeilaus metsävarojen hankinnassa. 2011. [http://foto.hut.fi/seura/julkaisut/pjf/pjf\\_e/2011/PJF2011\\_3\\_Holopainen\\_et\\_al.pdf](http://foto.hut.fi/seura/julkaisut/pjf/pjf_e/2011/PJF2011_3_Holopainen_et_al.pdf)

- Jinesh V., Sajee M.* Overview of Amazon web services. 2014. [https://media.amazonweb-services.com/AWS\\_Overview.pdf](https://media.amazonweb-services.com/AWS_Overview.pdf)
- Järvis J.* Forest Measurement with a relascope. Practical description for fieldwork with examples for Estonia. 2010. [http://puidumootmine.emu.ee/sites/default/files/Relascope\\_en\\_2013.pdf](http://puidumootmine.emu.ee/sites/default/files/Relascope_en_2013.pdf)
- Kangas A., Heikkinen E., Maltamo M.* Puustotunnusten maastoarvioinnin luotettavuus ja ajanmenekki // Metsätieteen Aikakauskirja. 2002. N. 3. P. 425–440. <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff02/ff023425.pdf>
- Kosonen H.* Suitable software for forestry service entrepreneurs. 2013. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/64952/Kosonen\\_Heikki\\_2013\\_10\\_21.pdf](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/64952/Kosonen_Heikki_2013_10_21.pdf)
- Melkas T., Miettinen M., Hämäläinen J., Einola K.* Puukarttajärjestelmä hakkuun tehostamisessa. 2014. [http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti\\_230\\_Puukarttajarjestelma\\_hakkuun\\_tehostamisessa\\_tm\\_ym.pdf](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_230_Puukarttajarjestelma_hakkuun_tehostamisessa_tm_ym.pdf)
- Metsätietostandardit. Bitcomp Oy, 2014. <http://www.bitcomp.fi/metsatietostandardit/>
- Peuhkurinen J., Maltamo M., Malinen J.* Estimating species specific diameter distributions and saw log recoveries of boreal forests from airborne laser scanning data and aerial photographs: a distribution-based approach. 2008. <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf42/sf424625.pdf>
- Rasinmäki J., Mäkinen A., Kalliovirta J.* Puukohtainen inventointitieto metsätalouden suunnitteluun päätöstukijärjestelmässä // Metsätieteen Aikakauskirja. 2009. N. 4. P. 382–385. <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff09/ff094382.pdf>

## Trestima – Digital Photographs for Forest Inventory

**T. Rouvinen**

*Trestima Oy*

*Hermiankatu str., 6-8 D, Tampere, 33720 Finland*

E-mail: timo.rouvinen@trestima.com

Higher efficiency of forest survey is a corner stone of forest inventory and forest planning. Mobile technologies create a unique opportunity to solve the problem as well as measurement accuracy improvement, higher data objectiveness and independent control of the results. Trestima technology bases on extraction of forest attributes such as basal area, tree stem diameter, tree height and species distribution from photographs captured by a mobile phone. Image processing is performed automatically in a cloud service using machine vision, which is aided by a human operator when necessary. That allows automating all further calculations. Functions of electronic compass and ge positioning implemented on modern smart-phones allows registering the direction as well as sufficiently accurate geographic coordinates, which enables unambiguously association of a measurement and its location. The service produces reports about timber stock, basal area, average diameter, average height, number of tree trunks and diameter distribution. The report prepared for each tree stand includes standard error, as well as confidence interval for the measurements results and the assessment, with a 95 % probability level. Using the cross-section area, the average diameter and average height, the timber stock and the number of stems in the specific area may be calculated. The report generated by Trestima can be easily supplemented by a derived parameters, as well as any of the applicable formulas can be easily modified or altered in accordance with the needs, for example, depending on the particular forest inventory area. One of the key features of the Trestima technology is the fact that each measurement contains geographic coordinates' data. It means that, the location of each measurement can be displayed on the map, and the route, and the area cover under consideration can be analyzed.

**Keywords:** *forest survey, measurements and evaluation of forest resources using mobile telephone, Trestima technology.*