

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ФОТОГРАМЕТРИЧНИ МЕТОДИ И ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ ЗА ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ НА КОЛИЧЕСТВАТА И КАЧЕСТВОТО НА СКРАП В СТОМАНА ИНДЪСТРИ АД, ГР. ПЕРНИК

**Иван Калчев, „ГЕО ПЛЮС“ ЕООД
Явор Михайлов, „МУХ“ АД**

РЕЗЮМЕ

В металургичната индустрия използването на количествена и качествена пространствена информация се явява ключов елемент в различни аспекти на производствените процеси. За производството на различни продукти в стоманодобивния процес през последните години като основен ресурс се използва скрап, което определя постоянния интерес към оперативното наблюдение и възможно най-точното определяне на наличното и изразходваното количество от тази суровина, както и нейния качествен състав. В доклада се представят някои технологични решения и резултати от натрупания опит от научно-приложен характер за използване на дистанционните методи на въздушната и близко обхватна фотограмметрия за целите на инвентаризацията на Скрапоцефа на „Стомана Индъстри“ АД, гр. Перник. Споделят се някои идеи за приложение на нови компютърни технологии за определяне не само на количествата, но и на качествения състав на скрап, постъпваща за преработка в складовете на металургичното предприятие, на базата на дигитална обработка на фотографски изображения и облаци от точки.

**КЛЮЧОВИ ДУМИ: ВЪЗДУШНА И БЛИЗКО ОБХВАТНА ФОТОГРАМЕТРИЯ,
ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ, ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ НА КОЛИЧЕСТВА,
МЕТАЛУРГИЧНА ИНДУСТРИЯ**

ABSTRACT

In the metallurgical industry, the use of quantitative and qualitative spatial information is a key element in various aspects of production processes. For the production of various products in the steelmaking process in recent years scrap is used as the main resource, which determines the constant interest in operational monitoring and the most accurate determination of the available and consumed amount of this raw material and its quality composition. The report presents some technological solutions and results of the accumulated experience of scientific and applied nature for the use of remote sensing methods of aerial and close-range photogrammetry for the purposes of the inventory of the scrap shop of Stomana Industry SA, Pernik. Some ideas for the application of new computer technologies for determining not only the quantities but also the qualitative composition of scrap, received for processing in the warehouses of the metallurgical enterprise on the basis of digital processing of photo images and point clouds, are shared.

**KEY WORDS: AERIAL AND CLOSE-RANGE PHOTOGRAMMETRY, ARTIFICIAL
INTELLIGENCE, INVENTORY OF QUANTITY, METALURGY INDUSTRY**

1. ВЪВЕДЕНИЕ

За производството на различни продукти в стоманодобивния процес през последните години като основен ресурс се използва скрап. Особеност на тази суровина е, че състава на скрап от вторични суровини представлява предварително неизвестна смес от метали, сплави и отпадъчни материали, натрупвана в складовете в различни количества, с различна структура и геометрични форми, както и с различни качества. Това определя постоянния интерес към оперативното наблюдение и възможно най-точното определяне на наличното и изразходваното количество от тази суровина, както и нейния качествен състав.



Поради динамиката на производствения процес ситуацията в складовите помещения и открити площадки за съхранение на скрап се променя драстично в продължение само на няколко часа или дни. Постоянно в складовете постъпват нови количества суровина чрез разтоварване на влакови композиции и товарни автомобили, а към стоманодобивните пещи се извозват необходимите количества в зависимост от натоварването на производствените мощности. Тези бързи изменения в състоянието на складовите пространства налага отчитането на наличните количества на суровината няколко пъти в седмицата, а понякога и ежедневно.

Отчитането на количества звучи като работа на бюро, но реалността в складовете за скрап е далеч от условията в офиса. Това са места с множество потенциални източници на опасности и висока степен на риск – от постоянното движение на тежки машини, през силно запрашената и замърсена среда, до наличието на лесно запалими и избухливи материали в състава на суровината. Необходимо е постоянно отчитане и контрол на рисковете в променящата се среда и стриктно спазване на предвидените мерки за безопасност.

Един от основните компоненти, определящи количеството на суровината, е нейният обем. Както правилно е отбелязано в [3] „Преминването от обем към тонове не е геодезическа задача. Тя може да се реши съвместно с други специалисти на възложителя на базата на специфичното тегло на съответния материал, по данни на доставчика и като се ползва опитът в тази област. Еднозначно решение няма, защото различните материали и суровини имат и различни коефициенти на уплътняване, когато се складират и различни коефициенти на разбухване, когато се превозват до завода-потребител. Поради тези особености ангажирането на геодезията с определяне на количества на енергийни материали и суровини, изразени в тонове не трябва да се прави, защото се поема непрофесионална отговорност“. В особена степен това е вярно отнесено към такава суровина, като скрап с нееднороден състав и структура. Въпреки тези постулати определянето на обеми на отделните сортирани купчини суровина е незаменим източник на данни за специалистите на възложителя. Измерването на геометрията на обекти, моделирането им и изчисляването на обеми е типична геодезическа задача. Срочното и многократно решаване на тази геодезическа задача налага търсенето на все по-бързи и точни методи за изчисляване на геометричните характеристики на куповете скрап за да се отговори на динамиката на ситуацията в складовете, като същевременно се отчита факта, че директният достъп до материалите е силно затруднен, опасен за човека или дори практически невъзможен.

2. СЪЩЕСТВУВАЩИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОБЕМИ В СКЛАДОВЕ ЗА СУРОВИНИ

Задачата за организиране и реализиране на геодезически измервания и изчисления за определяне на обеми на различни суровини е решавана през годините с различни методи и технологии. В недалечното минало по доста опростен начин са определяни площта и височините на куповете с различен по състав материал и са изчислявани приблизително обемите на тези генерализирани конусовидни или пирамидални пространствени фигури. С навлизането на електронните тахиметри (тотални станции), професионалните GNSS приемници и CAD софтуер в геодезическото производство точността на измерването и детайлността при моделирането на такива обекти значително се подобряват.

В [3] са изложени особеностите при реализиране на задачи за стоков контрол като една нетипична дейност за геодезията, представен е „традиционният“ метод за измерване чрез полярно заснемане с тотални станции (рефлекторно и безрефлекторно), анализира се необходимата точност на работната геодезическа основа и на геодезическите измервания при определяне на обеми на енергийни суровини и материали в закрити халета, производствени цехове и открити площадки, направена е обосновка на точността на създадените цифрови модели и на точността на определените от тях площи и обеми.

Анализирайки масово използваните към момента геодезически методи на измерване чрез тотални станции и/или GNSS приемници за моделиране на купове със суровина в различните складови стопанства могат да се открият следните недостатъци:

1. При измерванията с тотална станция се изисква създаването, опазването и поддържането на работна геодезическа основа за последващо многократно ползване в много трудна среда. Сложната топография на купчините и ограниченията в откритите и закрити складове налага изпълнението на полярна снимка от много на брой станции за да се координират необходимия брой точки за описание на повърхнините. В редица случаи безрефлекторни измервания са практически невъзможни, а реализирането на измервания с отражателни призми е свързано с висок риск за персонала при обхождане на куповете.
2. Измерванията с GNSS приемници са приложими само за открити складови стопанства. Координирането на необходимия брой точки за моделиране с тази технология изисква обхождане на куповете с различни материали освен в основата им и по структурните линии на повърхнините, определящи тяхната геометрия, а това е свързано с висок риск за изпълнителя на преките измервания;
3. И при двата метода се координират дискретно множество точки, определяни субективно от оператора в момента на измерванията в екстремна обстановка. Поради тези обстоятелства тези точки в много случаи са минимален брой, което води до генерализиране и ниска степен на детайлност на повърхнините. Това е причина за значително влошаване на точността в определяните обеми за количествен анализ на материалите в купчините;
4. В конкретният случай на заснемане на купчини от скрап в открити или закрити складове реално не е възможно обхождането на повърхнината за координиране на подробни точки по структурни линии освен в основата на купчините. Това обстоятелство ограничава възможността от използване на измервания с тотална станция с рефлектор и на GNSS приемници.

За събирането на необходимите пространствени данни за моделиране на повърхнините на купчините суровина могат да се използват наземни лазерни сканиращи системи. С такива инструменти може да се подобри значително броя на координираните точки и да се повиши детайлността на изчисляваните модели. За пълното обхващане на фигурите на купчините обаче остава необходимостта от изпълнение на сканирания от много на брой станции в неблагоприятна среда, като при това съществува реална вероятност да се получат „засенчени“ области без данни за моделиране. Като друг „недостатък“ на тази технология може да се посочи и сравнително високата цена на сканиращите тотални станции и специализирани скенери.

Потенциала на съвременните фотограметрични решения, като една достъпна алтернатива за изпълнение на задачата, се разглежда по-нататък в изложението.

3. ПРИЛОЖЕНИЕ НА ВЪЗДУШНО ФОТОГРАМЕТРИЧНО ЗАСНЕМАНЕ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОБЕМИ В ОТКРИТИ СКЛАДОВЕ ЗА СУРОВИНИ

Използването на безпилотни летателни системи (БЛС) за изпълнение на въздушно фотограметрично заснемане е широко разпространена практика през последните години, което вече може да причисли този метод към традиционните. Както е отбелязано в [4] тази технология е ефективно прилагана и с евтини системи, които могат да се използват за професионални геодезически задачи, като например моделирането на повърхнини на купчини със скрап в откритите складове за суровина. За извършване на инвентаризация на Скрапоцеа на „Стомана Индъстри“ АД, гр. Перник през 2020-2021г. многократно успешно е прилагана тази стандартна фотограметрична технология с мултироторни БЛС:

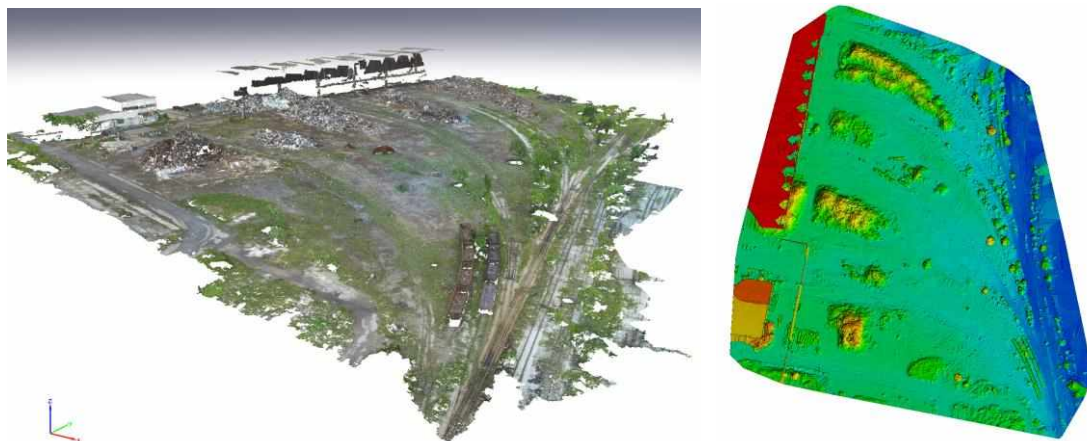


Фиг. 1: Координиране на наземни контролни точки и извършване на въздушно фотограметрично заснемане на открит склад за скрап в „Стомана Индъстри“ АД, гр. Перник

За геореферирание на крайните продукти се използват 9 наземни контролни точки, които са трайно маркирани и са координирани с GNSS измервания в реално време в Кадастрална координатна система 2005 така, че да се използват многократно при инвентаризацията на откритите складове за скрап. При всяка инвентаризация се извършват опреснявания на фотограметрични знаци и контролни GNSS измервания за координирането им, което отнема около 30min. Площта на открития склад за скрап на „Стомана Индъстри“ е сравнително малка така, че един полет с мултироторен БЛС с височина 50m със застъпване 75-80% на съседните снимки с резолюция 12Mpix се изпълнява в рамките на 10-15min и е достатъчен за да се

завърши фотограметричното заснемане на цялото поле. Така за по-малко от един час се събира цялата изходна информация за 3D моделирането на открития склад.

В резултат от обработката на въздушните снимки със специализиран софтуер за дигитална фотограметрия се получава реконструиран модел на обектите в открития склад, включително и купчините със скрап, под формата на облак от точки и цифров модел на повърхнината, към момента на извършване на заснемането:



Фиг. 2: 3D облак от точки и цифров модел на повърхнината на открит склад за скрап в „Стомана Индъстри“ АД, гр. Перник

4. ПРИЛОЖЕНИЕ НА БЛИЗКО ОБХВАТНО ФОТОГРАМЕТРИЧНО ЗАСНЕМАНЕ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОБЕМИ В ЗАКРИТИ СКЛАДОВЕ ЗА СКРАП НА СТОМАНА ИНДЪСТРИ, ГР. ПЕРНИК

Докато в откритите складове прилагането на въздушна фотограметрия може да се разглежда като стандартен подход, то в закритите складове на Скрапоцеха на „Стомана Индъстри“ АД, гр. Перник, това решение е ограничено от редица особености:

1. Геометричните ограничения на строителната конструкция и разделените с колони полета вътре в закрития склад, покрит от горе с покрив, значително ограничават възможностите за прилагане на летателна платформа – БЛС се нуждаят от GPS сигнали за позициониране и ориентация при провеждане на предварително планиран автоматичен полет;
2. Сравнително малките превишения между обектите на моделиране (високи до 7-8m купчини скрап) и възможните позиции на камерите (на височина под крановете до 12m) ограничават възможностите за гарантиране на достатъчно припокриване между снимките за фотограметрични цели от близко разстояние (80—90%);
3. Усложнени технологични условия вътре в склада за скрап, свързани с процесите на експлоатация – високо ниво на прах, много ниско ниво на осветеност, висока степен на интерференция поради наличието на много голямо количество метал, която прави изпълнение на полет с БЛС с автоматично или ръчно управление доста екстремно действие;
4. Наличие на много различни материали в купчините скрап с различни оптични и отразяващи характеристики.

Тези ограничения на стандартните методи за въздушна фотограметрия налагат търсенето на нетипични инженерни подходи за намиране на решение за фотограметрично заснемане на

закрито, съобразено с особеностите на Скрапоцеха.



Фиг. 3: Технологични условия в закрит склад за скрап в „Стомана Индъстри“ АД, гр. Перник

В основата на предложеното решение е факта, че във всяко от отделните полета на закрития склад оперират портални кранове, които могат да се придвижат по цялата дължина на цеха за около 5min при нормална скорост. Идеята е тези кранове да се използват като подвижна платформа за реализиране на фотограметрично заснемане, т.е. да играят ролята на „летателна“ система за близко обхватна фотограметрия.

Първоначално бяха реализирани опитни заснемания с видеозаписи от камерата на смартфон, с доста ниска резолюция (640x480 Pix) и 30 кадъра в секунда. Поради сравнително малката скорост на движение на крана и големият брой кадри в секунда се осигурява много висока степен на застъпване между изображенията, което позволява впоследствие те да се обработят по фотограметричен начин. Независимо от редица неблагоприятни фактори, като наличие на доста размазани изображения поради силните вибрации на движещия се кран, доста „шум“ в реконструирания модел поради осветеност на част от снимките в краищата на полетата заради ръчното носене и насочване на камерата без стабилизатори, ниската резолюция на видеозаписите от които се извличат кадри с малък обхват и резолюция, много тъмни части в изображенията поради ниското ниво на осветеност в склада, в случая с тестовото поле, заснето от една видеокамера в двете посоки на движение на крана се получи облак от 713'410 точки със средна гъстота 6.34 точки/m³ – непостижимо с полярна снимка с безрефлекторна тотална станция:

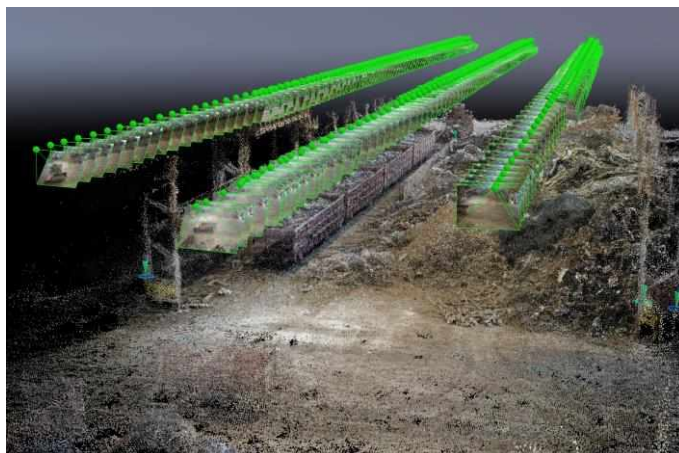


Фиг. 4: 3D модел на поле от закрит склад за скрап в „Стомана Индъстри“ АД, гр. Перник, получен при обработка на кадри от видео запис с камера на смартфон

Тези макар и скромни резултати показаха приложимостта на метода и идеята беше доразвита за да се осигури необходимата точност и детайлност на 3D моделите на купчините скрап. Приложени са следните подобрения в първоначалното решение:



1. По стоманените колони на конструкцията на закрития склад бяха маркирани постоянни фотограметрични марки, координирани чрез полярни измервания с безрефлекторна тотална станция от развита полигонова работна геодезична основа. Такива марки бяха създадени от двете страни на колоните така, че да са видими при заснемания в двете посоки на движение на крановете (от изток и от запад). Марките са разположени на приблизителна кота +1.50m от кота нула на сградата, като допълнително са поставени ограничен брой марки на кота +7.00m с цел подобряване на фотограметричното реконструиране по височина.
2. За повишаване на размера и резолюцията на изображенията вместо видео се записват снимки с минимум 10MPix на всяка секунда.
3. Следващото решение беше да се използват едновременно три смарт телефона, разположени в средата на крана и в двата му края на по 1/3 от общата ширина на заснеманото поле от закрития склад.
4. С цел преодоляване на проблема със сравнително малкото вертикално отстояние от позициите на камерите до върховете на купчините вместо вертикални се правят наклонени снимки (до 60°), като насочването на трите камери е такова, че да се получи достатъчно голям процент напречно застъпване между крайните и средната редица снимки. За да се гарантира покриването на купчините от всички аспекти заснемането се извършва на два хода при движение на крана в двете посоки, като общото време за заснемане на едно поле не надвишава 10min.
5. Поради факта, че в закрито помещение не могат да се регистрират позиции на снимките, направени от смарт телефон, приблизителните координати на центровете на снимките са изчислени по геометричните характеристики на полетата в сградата на закрития склад и средната скорост на движение на крана. Така с достатъчна точност се въвеждат първоначални позиции за центровете на снимките за последващата фотограметрична обработка.

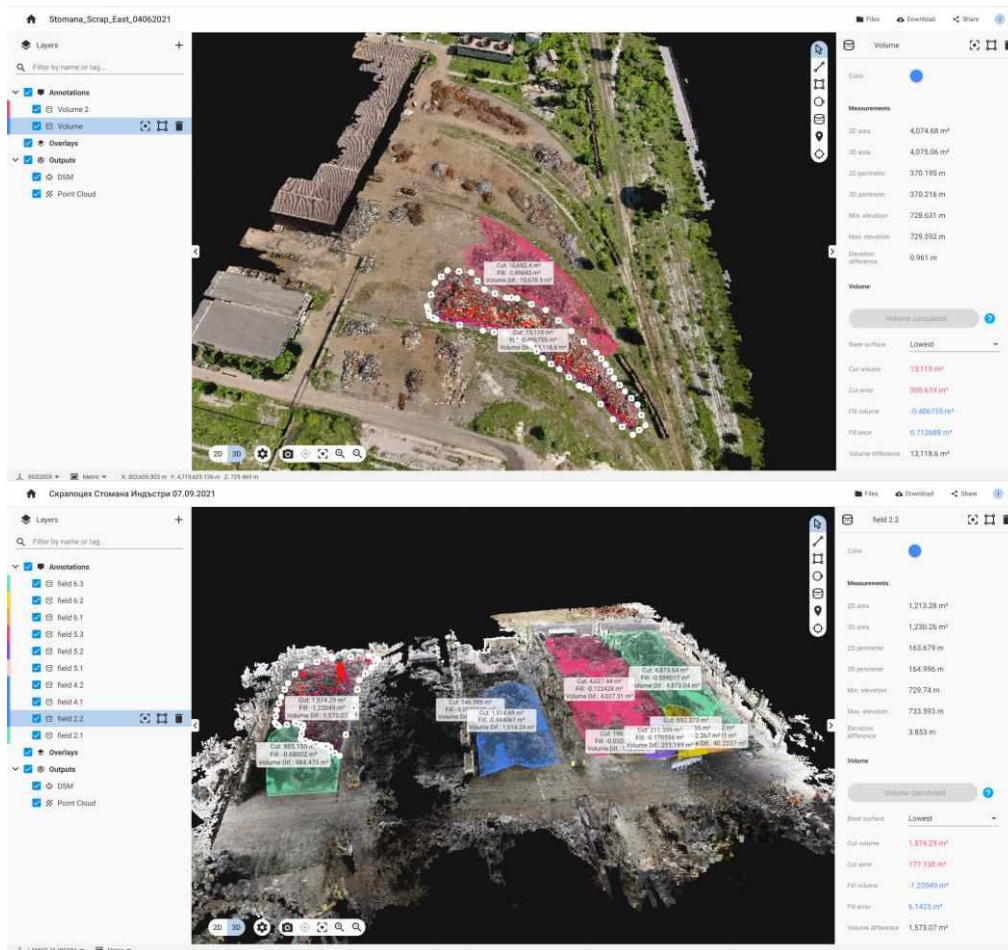


Фиг. 5: 3D облак от точки на поле от закрит склад за скрап в „Стомана Индъстри“ АД, гр. Перник, получен при обработка на фото изображения и позиции на използваните 3 камери на смарт телефони

Резултатите от 3D моделирането чрез близко обхватна фотограметрия бяха подложени на проверка чрез съвместяване на облака от точки с контролни точки, измерени с безрефлекторна тотална станция. При тази проверка практически се потвърди достатъчната точност на координиране на идентично точки по двата метода. Поради значително по-детайлните модели на купчините, получени по фотограметричния метод, резултатите от изчисляването обема на суровината са много по-надеждни и близки до реалните.

5. СПОДЕЛЯНЕ НА ЦИФРОВИТЕ МОДЕЛИ И ДЕФИНИРАНЕ НА ГРАНИЦИТЕ НА КУПЧИНИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОБЕМИ В СКЛАДОВЕ ЗА СКРАП НА СТОМАНА ИНДЪСТРИ, ГР. ПЕРНИК

Пространствените цифрови продукти, получени от въздушно фотограметрично заснемане за откритите складове и от близко обхватното фотограметрично заснемане от крановете в закритите складове, се предоставят на отговорни специалисти от Скрапоцеа, които извършват дефинирането на отделните купчини, сортирани по различен състав на скрап. За да се избегне необходимостта от използване на специализиран софтуер и специфична подготовка на служителите на възложителя, се използва облачна услуга [1] за споделяне на 3D моделите на Скрапоцеа така, че с много интуитивен интерфейс те да могат да разглеждат моделите и да определят границите и състава на отделните купчини:



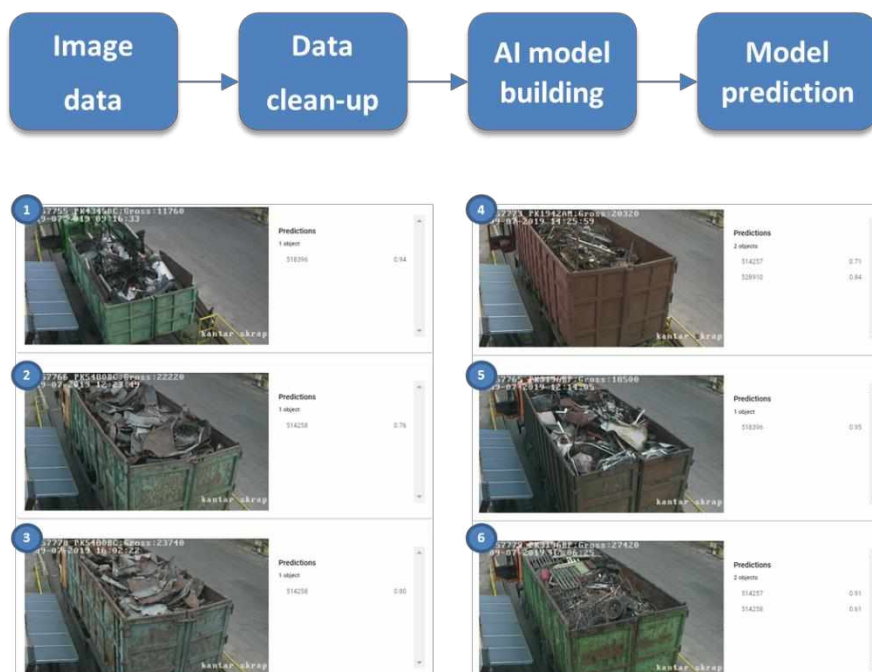
Фиг. 6: 3D облаци от точки на открит склад и полета от закрит склад в „Стомана Индъстри“ АД, гр. Перник, споделени в облачна услуга за ползване от крайния потребител при изчисляване на обем

В средата на тази платформа за споделяне на модели крайният потребител може да получава директно резултати от изчисления на площи и обеми на всяка една от дефинираните купчини с различни материали, като за изходна повърхнина може да се избира например равнината спрямо най-ниската точка на околния терен, изравнителна равнина или триангулирана повърхнина, дефинирани от теренните точки по периметъра на всяка отделна купчина.

Получените резултати от изчисления на обеми могат да се извеждат в табличен или графичен формат за нуждите на по-нататъшните изчисления на количествата суровина, което е в компетентността на експерти на възложителя.

6. ИЗПОЛЗВАНЕ НА ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ И НЕУТРОННИ МРЕЖИ ЗА КАЧЕСТВЕН АНАЛИЗ НА СУРОВИНИ

След успешното завършване на пилотен проект за „Стомана Индъстри“ гр. Перник, екипът на “МУХ” АД [5] разработи и внедри автоматична система за класификация и управление на металния скрап, ползван за основна суровина в стоманодобивния завод, наречена Система за разпознаване и оценка на материали в професионална среда - System for Commodity Recognition and Assessment in Professional Environments (SCRAPE). Това е интелигентна система, базирана на изкуствен интелект, която използва снимки на различни видове позиции в депото за скрап, включително снимки отгоре на камионите и вагоните, които влизат в депото, както и снимки на вече разтоварения скрап за да разпознае и класифицира 19 различни вида материал и да подобри чувствително процесите по рециклиране, извършвани в депото.

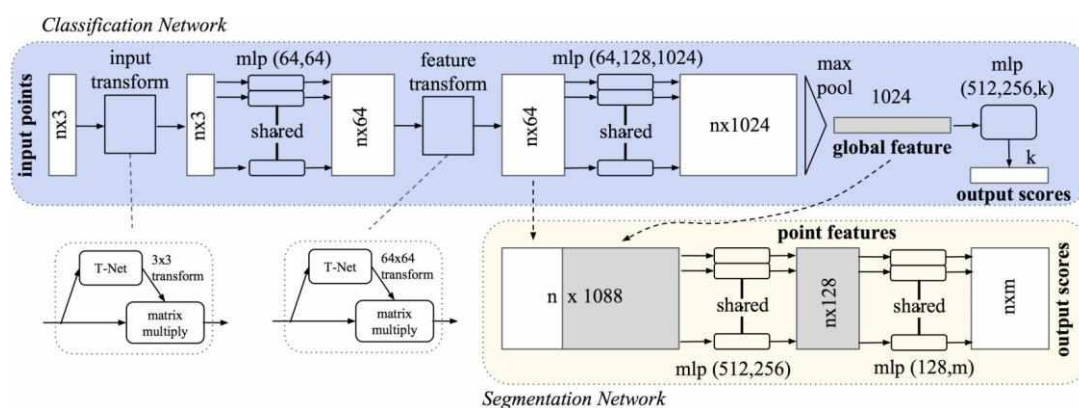


Фиг. 7: Технологичен ред на работа на системата SCRAPE за автоматично разпознаване и класифициране на материали в депота за скрап в „Стомана Индъстри“ АД, гр. Перник

В разработката се използва нов тип невронна мрежа, която използва директно облаци от точки и отчита пермутационната инвариантност на точките от облака като входни данни. Такива невронни мрежи осигуряват унифицирана архитектура на приложения в различна област – от

класификация на обекти, семантично групиране до семантичен разбор на сцена.

За работа с неподредени множества от входни данни ключов подход е използването на единична максимално обединяваща симетрична функция. Мрежата изучава ефективно множество оптимизационни функции/критерии, които избират интересни или информативни точки от облака и кодират основанията за техния избор. В края на процеса напълно свързани слоеве на мрежата обединяват тези проучени оптимални стойности в глобален дескриптор за цялата фигура (класифициране на обекти) или се използват за предсказване на етикетите на точки (сегментация на форми):



Фиг. 8: Схема на приложение на невронна мрежа за класификация и сегментиране на облак от точки

С внедряването на системата SCRAPE се постигат редица ползи за стоманодобивното предприятие, като:

1. Безпристрастна и обективна класификация на постъпващите в склада материали, базирана на алгоритъм на усъвършенствано машинно обучение, който след като бъде приложен към специфичните условия на Стомана Индъстри, ще продължи да се подобрява автоматично с времето, което потенциално допълнително увеличава точността на класифициране;
2. Спестяване на материални и финансови разходи от по-малко надплащане към доставчици от гледна точка на неправилно преценено качество на товара;
3. Времева оптимизация по процесите на скрап класификация;
4. Частична автоматизация на процеса на класификация;
5. Подобрени възможности за контрол и управление;
6. Намалено влияние на човешка грешка при класифицирането на материали;
7. Подобрени операции без промени в съществуващата инфраструктура

По този начин се постига висока добавена стойност за възложителя чрез обективен, автоматизиран процес на класификация на материалите с ниво на точност повече от 90%, което осигурява оптимално ценообразуване на входящите товари. Технологиата има потенциал да се приложи в основата и на останалите производствени процеси, което води до общо подобряване на качеството на производството.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Прилагането на дистанционни методи чрез фотограметрия за пространствено реконструиране на повърхнините на купчините скрап в открити и закрити складове предлага решаване на задачата с бързи и достъпни технологии. При изпълнение на фотограметрични заснемания по подходящ и находчив начин се преодоляват всички посочени недостатъци на останалите геодезически технологии със значително подобряване на качествата на цифровите модели като точност и детайлност. Същевременно се повишава ефективността на геодезическия труд, намалява се риска за преките изпълнителите и необходимото време за изпълнение, при това без да се използват скъпи технически средства. Внедряването на софтуерна система за обработка на изображения от депата за скрап, базирана на алгоритми за изкуствен интелект, допринася за постигане на висока степен на автоматизация при оценката на качествените показатели на суровината и значителен икономически ефект в производството.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] <https://www.pix4d.com/product/pix4dcloud>
- [2] <http://www.stomana.bg/>
- [3] Вълчинов, В. , Александров, Б., Количествен контрол на суровини и материали чрез геодезически методи – сп. „Геомедия“, 29.11.2012 (<https://www.geomedia.bg/geodesia/kolichestven-kontrol-na-surovini-i-mat-2/>)
- [4] Калчев, И., Стоянова, Ст., Приложение на евтини безпилотни летателни системи за професионална въздушна фотограметрия – сп. „Геодезия, Картография, Земеустройство“, бр. 1-2*2020 (<https://joom.ag/kT1C>)
- [5] www.myxrobotics.com

ДАНИИ ЗА АВТОРИТЕ

д-р инж. Иван Калчев
„ГЕО ПЛЮС“ ЕООД
гр. София, бул. „Цар Борис III“ № 215, партер, офис 7
0885 956312, 0899 641275
e-mail: ikaltchev@geoplus-bg.com

Явор Михайлов
MYX Robotics
1000 Sofia, Mladost 3, 326
mobile (+359) 0884 733 472 , 0878 508 723 ,
e-mail: yavormmihailov@myxrobotics.com, www.myxrobotics.com