НОВІ РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ І ТОРГІВЛІ

УДК 677.017.4:664:004.93
DOI https://doi.org/10.37734/2518-7171-2026-2-10

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

АВТОМАТИЗОВАНЕ ВИЗНАЧЕННЯ МОРФОМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛУБОВОЛОКНИСТОЇ СИРОВИНИ ЗА МІКРОЗОБРАЖЕННЯМИ ЗРІЗІВ

Є. О. КАЛІНСЬКИЙ, кандидат технічних наук, доцент
ORCID ID: 0000-0002-2605-8759
Г. А. БОЙКО, доктор технічних наук, доцент
ORCID ID: 0000-0001-8773-5525
Д. О. ЛЕВЧЕНКО, аспірант
ORCID ID: 0009-0001-9796-2278
(Херсонський національний технічний університет)

Анотація. *Лубоволокниста сировина застосовується в текстильній, харчовій, будівельній та автомобільній галузях, що підвищує вимоги до об'єктивного контролю її якості. Чинні методи оцінки ґрунтуються на окремих фізичних процедурах для кожного показника і не дають єдиної просторової картини розподілу волоконних пучків у перерізі. Метою статті є удосконалення методу оцінки якості лубоволокнистої сировини шляхом розробки методу сегментації екземплярів мікрозображень поперечного перерізу, що забезпечує об'єктивне обчислення морфометричних показників волокна для визначення його функціональної придатності.*

Сформовано власний набір даних із 83 мікроскопічних зрізів з експертно розміченими 1984 екземплярами волоконних пучків. Розроблено та навчено модель сегментації екземплярів на основі архітектури YOLO11s-seg з одноклясовою конфігурацією детектора та вхідною роздільною здатністю 768 пікселів. Застосовано доменно-орієнтовані аугментації зображень і морфометричний постпроцесинг для обчислення площі та геометричного центру кожного виявленого пучка. На основі геометричних характеристик, отриманих сегментацією, запропоновано три морфометричні показники: умовний діаметр волокна, структурну частку волокна та ступінь розволокнення.

Встановлено, що розроблена модель забезпечує на валідаційній вибірці показник mask mAP@0,5 на рівні 0,900 за збалансованих точності (0,842) і повноти (0,833). Час аналізу одного мікрозображення становить приблизно 33 мс, що не залежить від кількості пучків на зрізі. Визначено, що запропонований метод обчислює діаметр волокна, структурну частку волокна та ступінь розволокнення з одного мікрозображення, тоді як чинні стандартизовані методи вимагають окремих фізичних процедур для кожного показника.

Показано, що автоматизована сегментація екземплярів усуває потребу в ручному підрахунку волоконних пучків і забезпечує точність та відтворюваність вимірювання, недосяжну для ручного аналізу через окуляр-мікрометр. Отримані результати дозволяють зробити висновок про доцільність застосування розробленого методу для об'єктивного визначення функціональної придатності лубоволокнистої сировини до використання у харчовій та текстильній промисловості, зокрема для виробництва фільтрувальних матеріалів.

Ключові слова: *лубоволокниста сировина, комп'ютерний зір, сегментація екземплярів, морфометричні показники, YOLO, мікроскопія поперечного перерізу, контроль якості.*

Постановка проблеми. Лубоволокниста сировина (волокна льону, конопель та інших луб'яних культур) є багатогалузевим ресурсом. Традиційно вона застосовується в текстильній промисловості для виробництва технічних і побутових тканин [13]. Але застосування цього виду сировини стає дедалі активніше. Наприклад у харчовій промисловості, де фільтрувальні матеріали на основі натуральних волокон використовують для очищення технологічної води [12], а також в будівельній та автомобільній галузі як армувальний наповнювач у композитних матеріалах [10, 11]. Така багатогалузевість підвищує вимоги до об'єктивного контролю якості цієї сировини.

У межах цього дослідження об'єктом аналізу є лубоволокниста сировина на стадії технічного волокна після первинної обробки. Стадія трести (вилежаної соломи до виділення волокна) регламентується окремо стандартами ДСТУ 4149:2003 [1] та ASTM D7076-10 [6] і перебуває поза межами цього дослідження.

На стадії технічного волокна якість для текстильного застосування регламентують ASTM D7025-09 (тонина) [5] і ASTM D6961-09 (колір) [4]. В Україні відповідні методи містяться в ДСТУ 4015-2001 [13], причому для кольору стандарт передбачає органолептичний метод на відміну від інструментального підходу ASTM.

Для застосування в інших галузях (наприклад в якості наповнювача для фільтрів в харчовій промисловості) визначальними показниками якості є показники споріднені структурним показникам що використовуються в текстильній галузі. Наприклад діаметр, тонина волокна формують розмір міжволоконних пор фільтрувального шару, що підтверджено дослідженнями нетканих фільтрувальних матеріалів [17], а частка зайнятого волокном простору в перерізі пов'язана з пористістю матеріалу. Зв'язок площі поперечного перерізу волокнистого матеріалу з пористістю підтверджено на рівні окремого волокна дослідженням мікроструктури конопляного волокна методом рентгенівської мікротомографії [16].

Чинні методи оцінки наведених показників є окремими процедурами і не дають єдиної просторової картини розподілу волоконних пучків. Об'єктивна, відтворювана оцінка цих показників безпосередньо за мікрозображенням поперечного перерізу засобами штучного інтелекту усуває цю прогалину.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанню оцінки якості й контролю луб'яної сировини присвячено ряд досліджень. У роботі [2] розроблено систему класифікації стебел льону олійного для промислового застосування. У роботі [3] запропоновано перспективні методи й системи контролю якості інноваційної луб'яної сировини.

Стандарти ASTM D7879-13 [7] регламентує аналіз зображень як метод вимірювання, проте обмежений одиничними, відокремленими волокнами і не розв'язує задачу сегментації щільно розташованих пучків.

Жоден з наведених методів не дає просторової картини розподілу волоконних пучків у перерізі, тому що кожен оцінює один показник окремою фізичною чи інструментальною процедурою.

Необхідність впровадження систем комп'ютерного зору для аналізу структури лляної сировини та автоматизованого визначення тонини й закостриченості була визначена в попередніх роботах авторів [14, 15].

У суміжних галузях морфометричний аналіз поперечного перерізу волокнистих матеріалів засобами цифрової обробки зображень має усталену методологічну базу. Lorbach та ін. [8] запропонували обчислення тонини волокна через добуток площі поперечного перерізу на густину матеріалу. Goudenhooft та ін. [9] показали, що ріст рослини та розвиток клітинної стінки визначають властивості волокна, зокрема його придатність як армувального наповнювача композитних матеріалів. Chavoshi та ін. [10, 11] застосували сегментацію на основі глибокого навчання для визначення частки волокна (fiber volume content) у композитних матеріалах, підтвердивши методологічну спроможність площинного підходу для кількісної оцінки волоконної структури. Beaugrand та ін. [16] рентгенівською мікротомографією конопляного волокна підтвердили зв'язок площі поперечного перерізу з пористістю на рівні окремого волокна.

У власних попередніх тезах [12] обґрунтовано застосування сегментації методом watershed, який розглядає яскравість зображення як рельєф і проводить межі між сусідніми пучками там, де перепад яскравості між ними найбільший. Це дає змогу розділяти сусідні злиплі пучки для виявлення комплексів волокон. В роботі [12] введено робочий термін «ступінь розволокнення» для геометричного показника, спорідненого з офіційним терміном ДСТУ 4149:2003 «відокремлюваність» [1], але обчислюваного за даними поперечного перерізу, а не поздовжніх відрізків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про відсутність методу, який би на основі мікрозображення поперечного перерізу давав комплексну кількісну характеристику волоконних пучків (діаметр волокна, структурну частку волокна, ступінь розволокнення) для об'єктивного визначення функціональної придатності лубоволокнистої сировини.

Формування цілей статті (постановка завдання). Метою статті є удосконалення методу оцінки якості лубоволокнистої сировини шляхом розробки методу сегментації екземплярів мікрозображень поперечного перерізу, що забезпечує

Таблиця 1

Зіставлення стандартів оцінки якості технічного волокна

ASTM стандарт	Український відповідник	Стадія сировини	Спосіб оцінки
ASTM D7025-09 [5]	формально ДСТУ ISO 2370:2009; на практиці – ГОСТ 17514-93	тіпане (очищене) волокно	повітропроникність; органолептика й мікроскопія за ГОСТ
ASTM D6961/D6961M-09 [4]	метод міститься в ДСТУ 4015-2001 [13]	тіпане волокно	CIELAB (ASTM) проти органолептики (ДСТУ)
ASTM D7879-13(2018) [7]	прямого відповідника немає	окреме волокно	аналіз зображень одиничного волокна

Джерело: розроблено авторами на основі [14, 15].

об'єктивне обчислення морфометричних показників волокна, а також визначення функціональної придатності сировини для застосування у харчовій та текстильній галузях.

Завдання наукової праці: розробити та навчити модель сегментації екземплярів волоконних пучків на мікрозображеннях поперечного перерізу; запропонувати кількісні морфометричні показники на основі результатів сегментації; здійснити експериментальну валідацію розробленого методу та отриманих показників.

Виклад основного матеріалу. Об'єктом дослідження є процес визначення морфометричних показників лубоволокнистої сировини за мікрозображеннями поперечних зрізів технічного волокна. Предметом дослідження є метод сегментації екземплярів волоконних пучків та побудовані на його основі кількісні морфометричні показники. Сформовано власний набір даних для навчання моделі сегментації: 83 мікроскопічні зрізи з експертно розміченими 1984 екземплярами волоконних пучків (полігональні контури, площа, геометричний центр кожного пучка). Дані поділено на навчальну (79 зрізів) та валідаційну (4 зрізи) вибірки з фіксованим зерном генератора для відтворюваності. Валідаційні зрізи модель під час навчання не використовувала. Метод універсальний для будь-якої лубоволокнистої сировини: архітектура й конвеєр обробки не залежать від конкретної культури, а застосовність до іншої сировини визначається виключно складом навчального датасету, у цьому дослідженні сформованого на лляному волокні. Таким чином, сформований датасет забезпечує достатню основу для навчання моделі сегментації на щільно розташованих пучках.

В основу методу покладено архітектуру YOLO11s-seg із 10,07 млн параметрів. Архітектуру адаптовано під специфіку щільно розташованих дрібних об'єктів мікроскопії. Застосовано одноклясову конфігурацію детектора з єдиним класом «пучок». Вхідна роздільна здатність зображення становить 768 пікселів, що вище за стандартні для архітектури 640 пікселів. Використано доменно-орієнтовані аугментації: повороти, масштабування, мозаїку та вертикальне віддзеркалення. Вертикальне віддзеркалення застосовано тому, що поперечний зріз не має орієнтації «верх-низ». Реалізовано морфометричний постпроцесинг, що перетворює маски на полігональні контури з обчисленням площі та центру кожного пучка. Передбачено опційне калібрування пікселів у мікрометри. Додатково реалізовано модуль доменної передобробки зображень: вирівнювання глобального колірного балансу та адаптивне локальне підвищення контрасту CLAHE у просторі LAB. Наведені нижче метрики отримано на базовій конфігурації без застосування цього модуля. Оцінка внеску передобробки є предметом подальшої роботи. Навчання виконано оптимізатором AdamW до 200 епох із ранньою зупинкою. Поріг очікування ранньої зупинки становив 40 епох без поліпшення. Рання зупинка спрацювала на епосі 152. Найкращі ваги зафіксовано на епосі 112. Отже, обрана архітектура та режим навчання адаптовані під специфіку щільно розташованих дрібних об'єктів мікроскопії.

Таблиця 2

Кількісні показники сегментації на валідаційній вибірці

Показник	Маска (сегментація)	Рамка (детекція)
mAP@0,5	0,900	0,875
mAP@0,5–0,95	0,443	0,542
Точність (Precision)	0,842	0,754
Повнота (Recall)	0,833	0,841

Джерело: розраховано авторами за результатами власного експерименту.

Час аналізу одного зображення становить приблизно 33 мс на GPU NVIDIA GTX 1650 Ti у режимі FP32. Це швидкість обчислення показників на вже готовому мікрозображенні, без урахування часу підготовки зрізу та фотографування.

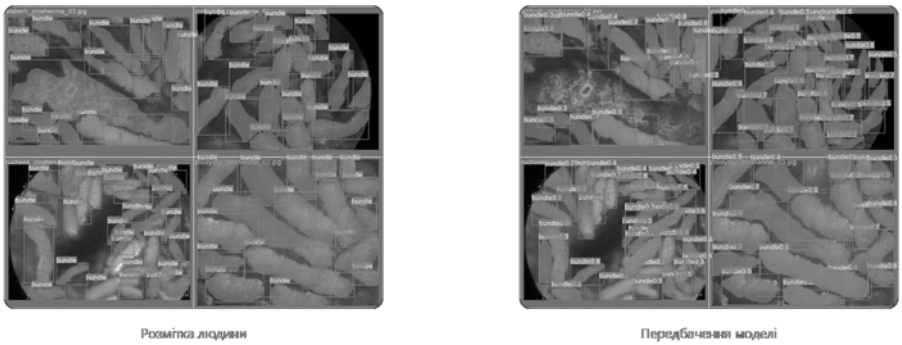


Рис. 1. Розмітка людини-анотатора (зліва) та передбачення моделі (справа) на прикладах тестових мікрозображень поперечних зрізів

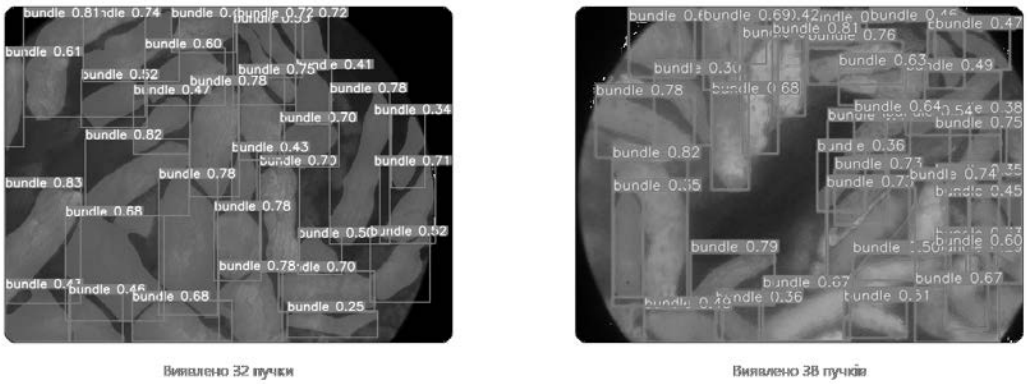


Рис. 2. Приклади виявлення волоконних пучків моделлю на тестових зображеннях поперечних зрізів

Отже, отримані метрики підтверджують придатність моделі для практичного застосування за високої точності та швидкодії.

Якісне порівняння розмітки людини-анотатора та передбачення моделі на прикладах тестових мікрозображень наведено на рис. 1.

Приклад виявлення волоконних пучків моделлю на тестових зображеннях із зазначенням кількості виявлених екземплярів наведено на рис. 2.

На основі геометричних характеристик, отриманих сегментацією (кількість пучків N, площа кожного пучка Si, площа перерізу стебла Sзрізу), запропоновано три показники.

1. Діаметр волокна. Формула дає умовний діаметр еквівалентного кола:

$$d = 2\sqrt{(\bar{S} / \pi)} \qquad (1)$$

де $\bar{S}$ позначає середню площу пучка. π є математичною сталою. Тонина волокна (лінійна щільність, текс) може бути визначена наступним кроком через діаметр (1) і густину матеріалу стінки ρ за підходом, адаптованим за Lorbach та ін. [8]. Передбачена верифікація проти ASTM D7025-09 [5] на підмножині зразків.

2. Структурна частка волокна (запропонований показник):

$$\text{Кф} = \Sigma Si / S\text{зрізу} \qquad (2)$$

де ΣSi позначає сумарну площу всіх виявлених пучків. Показник (2) побудований за аналогією з показником частки об'єму волокна (fiber volume content, FVC), застосовуваним у сегментаційному аналізі композитних матеріалів [10, 11]. Переведення у відсотковий вихід волокна потребує вагової калібрувальної вибірки.

3. Ступінь розволокнення. Кількість пучків N та їх середня площа $\bar{S}$ використовуються як геометричні кореляти ступеня поділу волокнистого комплексу на тонші складові пучки. Зростання кількості пучків N і зменшення середньої площі $\bar{S}$ супроводжує прогрес розщеплення волокна.

Отже, метод усуває потребу в ручному підрахунку пучків на мікрозображенні й додатково дає просторову картину їх розподілу в перерізі, чого не забезпечують чинні показники ДСТУ 4015-2001 [13]. На відміну від ASTM D7025-09 [5] і ASTM D6961-09 [4], що вимагають окремих фізичних процедур для кожного показника, запропонований метод обчислює діаметр волокна (1), структурну частку волокна (2) та ступінь розволокнення з одного мікрозображення. Вимірювання на пікселевому рівні забезпечує точність і відтворюваність, недосяжну для ручного вимірювання через окуляр-мікрометр. Обробка зображення за приблизно 33 мс не залежить від кількості пучків на зрізі, що забезпечує масштабованість методу для великих вибірок.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Розроблено метод сегментації екземплярів волоконних пучків лубоволокнистої сировини на основі архітектури YOLO11s-seg, що на валідаційній вибірці забезпечує mask mAP@0,5 = 0,900 за збалансованих точності й повноти (0,842/0,833) і часу аналізу приблизно 33 мс на зображення. На основі геометричних характеристик, отриманих сегментацією, запропоновано три морфометричні показники: умовний діаметр волокна (1), структурну частку волокна (2) та ступінь розволокнення (N, $\bar{S}$), для об'єктивного визначення функціональної придатності лубоволокнистої сировини.

Наукова цінність роботи полягає в заміні ручного підрахунку та вимірювання волоконних пучків об'єктивним автоматизованим методом, що додатково дає просторову картину їх розподілу в перерізі. Практична цінність полягає в обчисленні кількох морфометричних показників з одного зображення замість окремих фізичних процедур, передбачених ASTM D7025-09 та ASTM D6961-09.

Робота має обмеження, важливі для коректного застосування результатів. Підготовка мікрозрізу та фотографування лишаються спільним трудомістким етапом, який цей метод не скорочує. Показник діаметра потребує калібрування пікселів у мікрометри для переведення в абсолютні значення. Тонина як похідний показник потребує додатково

густини матеріалу стінки під конкретний вид сировини. Структурна частка волокна без вагової калібрувальної вибірки прямо не характеризує відсотковий вихід волокна, а надає лише відносний структурний орієнтир. Зв'язок ступеня розволокнення з капілярною структурою, релевантною для фільтрації, наразі є логічним припущенням, не підтвердженим прямим вимірюванням.

Перспективи подальших досліджень полягають у верифікації обчислюваних морфометричних показників проти реальних показників функціональної придатності. Зокрема, це стосується уточнення змісту показника площі перерізу (Sзрізу) для стадії технічного волокна. Наступним напрямом є формування калібрувальної серії з ваговими еталонами для переведення структурної частки волокна у відсотковий вихід. Також передбачено подальше вдосконалення нейромережевого методу та розширення анотованого датасету для підвищення точності сегментації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 4149:2003 Треста лляна. Технічні умови. [Чинний від 2004-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2004. 15 с.

2. Головенко Т.М., Тіхосова Г.А., Бартків Л.Г. Розроблення системи класифікації стебел льону олійного з метою їх промислового застосування. *Стандартизація, сертифікація, якість*. 2017. №3(106). С. 91–99.

3. Головенко Т.М., Янюк Т.І., Бойко Г.А., Дягілев А.С., Шовкомуд О.В. Перспективні методи й системи контролю якості інноваційної луб'яної сировини. *Наука та інновації*. 2019. Т. 15, № 3. С. 94–109.

4. ASTM D6961/D6961M-09. Standard Test Method for Color Measurement of Flax Fiber. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2009. 4 p.

5. ASTM D7025-09. Standard Test Method for Assessing Clean Flax Fiber Fineness. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2009. 6 p.

6. ASTM D7076-10. Standard Test Method for Measurement of Shives in Retted Flax. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2010. 4 p.

7. ASTM D7879-13(2018). Standard Test Method for Determining Flax Fiber Widths Using Image Analysis. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2018. DOI: 10.1520/D7879-13R18.

8. Lorbach C., Hirn U., Kritzinger J., Bauer W. Automated 3D measurement of fiber cross section morphology in handsheets. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*. 2012. Vol. 27, No. 2. P. 264–269. DOI: 10.3183/NPPRJ-2012-27-02-p264-269.

9. Goudenhooft C., Bourmaud A., Baley C. Flax (Linum usitatissimum L.) Fibers for Composite Reinforcement: Exploring the Link Between Plant Growth, Cell Walls Development, and Fiber Properties. *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. Art. 411. DOI: 10.3389/fpls.2019.00411.

10. Chavoshi A., Kaufmann J., Cebulla H. Fiber Volume Content Characterization of Flax Fiber Reinforced Plastics Using Deep Learning. *SAMPE Europe Conference* 2024, Belfast, Northern Ireland.

11. Chavoshi A., Cebulla H., Kaufmann J. Natural Fiber Reinforced Plastics Characterization Through Neural Networks, Tackle the Small Training Dataset. SAMPE Europe Conference 2025, Amsterdam.

12. Kalinsky E., Levchenko D. Computer vision-based quality assessment of natural fiber raw materials for food and textile industry applications. Синергія науки і бізнесу 2026 : матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф., ХНТУ, 22–24 квіт. 2026 р. : у 3 т. / за ред. О. В. Чепелюк. Львів ; Торунь : Liha-Pres, 2026. Т. 3. С. 117–119. URL: https://eir.kntu.net.ua/jspui/handle/123456789/2620.

13. Льон тіпаний. Технічні умови : ДСТУ 4015–2001. [Чинний від 2001-01-01]. Київ : Держстандарт України, 2001. 12 с.

14. Чурсіна Л.А., Калінський Є.О. Порівняльний аналіз системи оцінки якості лляної сировини в США і Україні. Проблеми розвитку та впровадження систем управління : зб. наук. пр. за матеріалами І Всеукр. наук.-практ. та студент. конф., м. Донецьк, 24–26 черв. 2011 р. Донецьк : ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», 2011. С. 63–68.

15. Калінський Є., Воронко О. Стандартизація лляної сировини: порівняльний аналіз досвіду США та України. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2024. Т. 335, № 3(1). С. 88–93. DOI: 10.31891/2307-5732-2024-335-3-12.

16. Beaugrand J., Guessasma S., Maigret J.-E. Damage mechanisms in defected natural fibers. *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. Art. 14041. DOI: 10.1038/s41598-017-14514-6.

17. Payen J., Vroman P., Lewandowski M., Perwuelz A., Callé-Chazelet S., Thomas D. Influence of fiber diameter, fiber combinations and solid volume fraction on air filtration properties in nonwovens. *Journal of Industrial Textiles*. 2012. DOI: 10.1177/0040517512449066.

REFERENCES

1. DSTU 4149:2003 (2004). *Tresta liana. Tekhnichni umovy* [Flax retted straw. Specifications]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. 15 p. [in Ukrainian]

2. Holovenko, T.M. & Tikhosova, H.A. & Bartkiv, L.H. (2017). Rozroblennia systemy klasyfikatsii stebel lonu oliinoho z metoiu yikh promyslovoho zastosuvannia [Development of a classification system for oilseed flax stalks for their industrial application]. *Standartyzatsiia, sertyfikatsiia, yakist – Standardization, Certification, Quality*, 3(106), 91-99. [in Ukrainian]

3. Holovenko, T.M. & Yaniuk, T.I. & Boiko, H.A. & Diahiliev, A.S. & Shovkomud, O.V. (2019). Perspektyvni metody y systemy kontroliu yakosti innovatsiinoi lub'ianoi syrovyny [Promising methods and systems for quality control of innovative bast raw materials]. *Nauka ta innovatsii – Science and Innovation*, 15(3), 94-109. [in Ukrainian]

4. ASTM D6961/D6961M-09. (2009). *Standard test method for color measurement of flax fiber*. ASTM International.

5. ASTM D7025-09. (2009). *Standard test method for assessing clean flax fiber fineness*. ASTM International.

6. ASTM D7076-10. (2010). *Standard test method for measurement of shives in retted flax*. ASTM International.

7. ASTM D7879-13(2018). (2018). *Standard test method for determining flax fiber widths using image analysis*. ASTM International. DOI: https://doi.org/10.1520/D7879-13R18

8. Lorbach, C. & Hirn, U. & Kritzinger, J. & Bauer, W. (2012). Automated 3D measurement of fiber cross section morphology in handsheets. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 27(2), 264-269. DOI: https://doi.org/10.3183/NPPRJ-2012-27-02-p264-269

9. Goudenhooft, C. & Bourmaud, A. & Baley, C. (2019). Flax (Linum usitatissimum L.) fibers for composite reinforcement: Exploring the link between plant growth, cell walls development, and fiber properties. *Frontiers in Plant Science*, 10, 411. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00411

10. Chavoshi, A. & Kaufmann, J. & Cebulla, H. (2024). Fiber volume content characterization of flax fiber reinforced plastics using deep learning. *Proceedings of the SAMPE Europe Conference 2024*. Belfast, Northern Ireland.

11. Chavoshi, A. & Cebulla, H. & Kaufmann, J. (2025). Natural fiber reinforced plastics characterization through neural networks, tackle the small training dataset. *Proceedings of the SAMPE Europe Conference 2025*. Amsterdam, Netherlands.

12. Kalinsky, E. & Levchenko, D. (2026). Computer vision-based quality assessment of natural fiber raw materials for food and textile industry applications. *Synergy of Science and Business 2026: Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference*, 3, 117-119. Available at: https://eir.kntu.net.ua/jspui/handle/123456789/2620

13. DSTU 4015-2001 (2001). *Lon tipanyi. Tekhnichni umovy* [Scutched flax fiber. Specifications]. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy. 12 p. [in Ukrainian]

14. Chursina, L.A. & Kalinskyi, Ye.O. (2011). Porivnialnyi analiz systemy otsinky yakosti lnianoi syrovyny v SShA i Ukraini [Comparative analysis of the flax raw material quality assessment system in the USA and Ukraine]. *Problemy rozvytku ta vprovadzhennia system upravlinnia*. Donetsk: Donetsk National Technical University. 63-68. [in Ukrainian]

15. Kalinskyi, Ye. & Voronko, O. (2024). Standartyzatsiia lnianoi syrovyny: porivnialnyi analiz dosvidu SShA ta Ukrainy [Standardization of flax raw materials: a comparative analysis of the experience of the USA and Ukraine]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky – Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 335(3(1)), 88-93. DOI: https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-335-3-12 [in Ukrainian]

16. Beaugrand, J. & Guessasma, S. & Maigret, J.-E. (2017). Damage mechanisms in defected natural fibers. *Scientific Reports*, 7, 14041. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-017-14514-6

17. Payen, J. & Vroman, P. & Lewandowski, M. & Perwuelz, A. & Callé-Chazelet, S. & Thomas, D. (2012). Influence of fiber diameter, fiber combinations and solid volume fraction on air filtration properties in nonwovens. *Journal of Industrial Textiles*. DOI: https://doi.org/10.1177/0040517512449066

Ye. Kalinsky, *PhD in Technical Sciences, Associate Professor;* ***H. Boiko,*** *Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;* ***D. Levchenko,*** *PhD Student.* ***Automated Determination of Morphometric Indicators of Bast Fiber Raw Materials from Cross-Section Microimages***

Abstract. *Bast fiber raw materials are used in the textile, food, construction, and automotive industries, increasing the requirements for objective quality control of this material. Current assessment methods rely on separate physical procedures for each indicator and do not provide a unified spatial picture of fiber bundle distribution. The aim of the study is to improve the method for assessing bast fiber quality by developing an instance segmentation method for cross-section microimages, enabling objective calculation of morphometric indicators for determining fiber functional suitability.*

A dataset was formed from 83 microscopic cross-sections with 1984 expertly annotated fiber bundle instances. An instance segmentation model was developed and trained on the YOLO11s-seg architecture with a single-class detector and 768-pixel input resolution. Domain-specific augmentations and morphometric post-processing calculated the area and centroid of each detected bundle. Three morphometric indicators were proposed: equivalent fiber diameter, structural fiber fraction, and degree of defibration.

The model achieves mask mAP@0.5 of 0.900 on the validation set, with balanced precision (0.842) and recall (0.833). Analysis time per microimage is approximately 33 ms, independent of bundle count. The proposed method calculates all three indicators from a single microimage, whereas standardized methods such as ASTM D7025-09 and ASTM D6961-09 require separate physical procedures for each indicator.

Automated segmentation eliminates manual bundle counting and provides measurement accuracy and reproducibility unattainable through manual analysis with an eyepiece micrometer. The results confirm the method's suitability for objectively determining the functional suitability of bast fiber raw materials for food and textile industry applications, including the production of filtering materials.

Keywords: *bast fiber raw materials, computer vision, instance segmentation, morphometric indicators, YOLO, cross-section microscopy, quality control.*

Дата першого надходження статті до видання: 07.08.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 08.10.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.11.2026