



## РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за получаване на образователната и научна степен “доктор” по: област на висше образование 6.0 Аграрни науки и ветеринарна медицина, професионално направление 6.1 Растениевъдство, научна специалност “Фуражно производство, ливадарство”.

**Автор на дисертационния труд:** Ивелин Димитров Марков, редовен докторант към катедра „Растениевъдство” при Аграрен университет-Пловдив

**Тема на дисертационния труд:** Проучване влиянието на различни практики за устойчиво управление на тревната система върху секвестрирането на С в почвата при интензивно поддържане на пътинг грийнове на пясъчна основа и върху годишния въглероден бюджет

**Рецензент:** проф. д-р Христина Георгиева Янчева, Аграрен университет-Пловдив, област на висше образование 6.0 Аграрни науки и ветеринарна медицина, професионално направление 6.1 Растениевъдство, научна специалност “Фуражно производство, ливадарство”, определена за член на научното жури със заповед № РД 16-209/02.02.2026 год. от Ректора на АУ.

### 1. Кратко представяне на кандидата.

Ивелин Димитров Марков е роден 25 03.1982 г. във гр. Варна. През 2005 г. получава диплом за ОКС “Бакалавър”, специалност „Автоматизация, информационни и управляващи компютърни системи“ от Техническия университет - Варна. През 2016 се дипломира като магистър инженер в същия университет. В периода 2006-2023 г. преминава обучение в няколко чуждестранни университета предимно в курсове, свързани с дизайн и управление на голф игрища. От 2018 до 2023 г. работи като мениджър на екип в голф игрище Блаксирама, Балчик. От началото на 2023 г. е зачислен като редовен докторант в Аграрен университет – Пловдив, катедра „Растениевъдство“. В продължение на две години (2023-2025) докторантът се обучава и провежда част от научните си изследвания в Аграрния университет-Тяньжин, Китай.

### 2. Актуалност на проблема.

Устойчивото управление на тревните системи при интензивно поддържани площи каквито са пътинг грийновете на голф игрища придобива все по-голяма значимост в контекста на глобалните екологични предизвикателства и климатичните промени. Тези тревни системи, особено когато са изградени върху пясъчна основа, представляват специфичен екосистемен компонент с висока динамика на водно, хранително и газово взаимодействие. В условията на интензивна грижа — включваща честа коситба, напояване, торене и аериране — процесите на **секвестриране на въглерод** в почвата и годишният **въглероден бюджет** могат да бъдат значително променени, с влияние върху устойчивостта на екосистемата и нейната роля в глобалния въглероден цикъл.

В последните години нараства интересът на научната общност, специалистите и практиците в областта на ландшафтния мениджмънт към разработване и прилагане на практики, които оптимизират екологичните ползи от тревните площи, намаляват емисиите на парникови газове и подобряват запасите на органичен въглерод в почвите. Голф игрищата и по-специално пътинг грийновете със своя интензитет на ползване представляват идеална система за изследване на тези процеси, тъй като тук се съчетават интензивни агротехнически мерки с високи изисквания към качество, устойчивост и функционалност на тревната покривка.

Разбирането на влиянието на различни практики за устойчиво управление — включително минимизиране на употребата на химически торове, прилагане на органични добавки, оптимизация на поливния режим и подобряване на структурата на почвата и тяхното влияние върху секвестрирането на въглерод и годишния въглероден бюджет е ключово за постигане на баланс между високо качество на игровата повърхност и екологична отговорност. Темата на дисертационния труд е актуална както от научна, така и от приложна гледна точка, тъй като резултатите могат да подпомогнат практическите насоки за управление, политики за устойчиво ползване и оценка на екосистемните услуги на тревните площи в условия на климатични и социално-икономически промени.

### **3. Цел, задачи, хипотези и методи на изследване.**

Основната цел на изследването е разработването и валидирането на интегрирана, възпроизводима рамка за подпомагане на управлението на тревни площи, която използва байесови мрежи, дистанционни наблюдения и полеви данни за адаптивно, ресурсно-ефективно и въглеродно-осъзнато вземане на решения.

Изследването се основава на следните работни хипотези:

- ✓ Кореновото състояние функционира като ключов механистичен медиатор между режима на управление и подземните екологични процеси.
- ✓ Интегрирането на дистанционни, сензорни и метеорологични данни чрез вероятно моделиране подобрява точността и интерпретируемостта на управленските решения.
- ✓ Компресирането и групирането на вегетационни индекси води до устойчиви и функционално смислени представяния на състоянието на тревната повърхност.
- ✓ Модулен dashboard може ефективно да превежда сложни моделни зависимости в практични решения в реално време.

Дисертационният труд е структуриран в пет взаимосвързани части, които в съвкупност разглеждат устойчивото управление на интензивно поддържани пясъчно-базирани пътинг грийнове и предоставят входни данни за разработване на интегрирана SMART система за подпомагане на вземането на решения (DSS).

**В част 1** се разглежда оптимизацията на азотното торене чрез моделиране на потребностите от азот на база потенциал на растежа (GP), вегетационни индекси и фактори на средата.

**Част 2** е фокусирана върху оптимизацията на напояването чрез сравнение на фиксирани и ET-базирани стратегии и дефиниране на ключови прагове за планиране и интеграция в DSS.

**Част 3** анализира развитието на кореновата система и връзките ѝ с управленските практики и условията на средата.

**Част 4** оценява приложимостта на вегетационни индекси и дистанционни методи, включително компютърно зрение, за предоставяне на пространствено детайлни управленски индикатори.

**Част 5** интегрира резултатите в AI-базирана байесова DSS, която предлага специфични за обекта препоръки, балансиращи качество на тревния чим, ефективност на ресурсите и почвено улавяне на въглерод.

Изследванията са проведени през периода 2019 – 2025 година на две голф игрища, разположени на различни географски ширини в България и Китай.

Методологичната рамка включва комбинация от анализ на полеви и сензорни данни за воден баланс, растителен стрес и коренова динамика; дистанционни изследвания и обработка на времеви редове от вегетационни индекси; машинно обучение за сегментация, клъстеризация и редукция на данни; вероятно моделиране чрез байесови мрежи за описание на причинно-следствени зависимости; разработване и тестване на интерактивен dashboard за подпомагане на решенията.

Подбраната комбинация от цели, задачи, хипотези и методи на изследването допринася както теоретично, така и практически за развитието на интелигентни системи за адаптивно управление на тревни екосистеми.

#### **4. Онагледеност и представяне на получените резултати.**

Представеният за рецензиране дисертационен труд е написан на английски език, разработен е в обем от 243 страници и е структуриран в 10 основни раздела, а именно: Увод, Литературен преглед, Цели и задачи, Материал и методи, Резултати, Обсъждане на резултатите, Изводи, Приноси и Цитирана литература. Дисертационният труд включва общо 43 таблици и 94 фигури, които ясно и прегледно илюстрират получените резултати и направените изводи.

Към основната структура е добавен и самостоятелен раздел „Рискове и насоки за бъдеща работа“, който придава допълнителна завършеност на изследването и очертава ясна перспектива за неговото надграждане. В този раздел са дефинирани две взаимно допълващи се направления за бъдещи научни разработки: задълбочаване на причинно-следствената и вероятностната архитектура на BN-DSS и разширяване на нейния емпиричен и оперативен обхват чрез прилагане в различни обекти, при разнообразни потоци от данни и в различни контексти на вземане на управленски решения

#### **5. Обсъждане на резултатите и използвана литература.**

Представянето и обсъждането на резултатите се отличават с много висок научен стил, коректно и последователно използване на специализираната терминология и аргументация, подкрепена с релевантни доказателства от международната научна литература. Докторантът е разработил изключително обширен и задълбочен литературен обзор, базиран на 456 чуждестранни научни източника, които обхващат в пълнота съвременните изследвания, концепции и методологични подходи, пряко свързани с разработваната тематика. Тази солидна теоретична основа позволява получените експериментални и моделни резултати да

бъдат анализирани критично, в широк контекст и с ясна връзка към утвърдените научни знания.

По отношение на оптимизирането на азотното торене и динамиката на Системния обектен модел (SOM) резултатите показват, че реакцията на тревната повърхност към внасянето на азот е бърза и зависи от типа използван показател. При единичната норма на торене най-силна връзка се наблюдава за Дигиталния визуален индекс (DVI) с лаг от 2 дни ( $r = 0.270$ ), докато при кумулативната азотна норма водещ е GOSA VI с лаг от 5 дни ( $r = 0.252$ ). Тези времеви прозорци отразяват периода, необходим на плътността на тревостоя и хлорофилния сигнал да реагират след торене. Комбинирането на няколко вегетационни индекса в композитни сигнали води до по-стабилни и по-силни зависимости.

Моделите, само с вегетационни индекси (VI) (обучение 2023 г., тест 2024 г.), успешно възпроизвеждат сезонната динамика, но изглаждат резките промени. Състоянието на тревната повърхност, описано чрез вегетационните индекси, обяснява около 37–40% от вариацията в приложената азотна норма и кумулативното отнемане на N, но не улавя внезапните пикове и спадове през сезона. Това насочва към необходимостта от включване на допълнителни предиктори, свързани с екологичен стрес.

Анализът на метеорологичните стресови фактори показва, че ефектите от суша и топлинни вълни се отразяват ясно във вегетационните индекси. Различните индекси реагират на различни типове и продължителности на стрес: структурно чувствителните индекси отразяват краткотрайни засушавания, докато хлорофил-чувствителните улавят по-продължителни топлинни натоварвания. Това е физиологично последователно и потвърждава, че спектралните сигнали носят надеждна информация за екологичния натиск върху тревната повърхност.

Включването на лаг-съгласувани показатели за топлинен и влагов стрес към вегетационните индекси води до съществено подобрене на моделите за азотно торене. При приложената азотна норма комбинираният модел (VI + stress) повишава значително обяснената вариация ( $R^2 \approx 0.55$  спрямо  $\approx 0.37$  само с VI), което показва, че управленските решения за торене са силно зависими от краткосрочните стресови условия. Най-значими драйвери са кратките водни дефицити и натрупването на топлина, докато спектралните индекси имат по-скоро стабилизираща роля. При кумулативната норма добавянето на стресови индикатори води до по-умерено подобрене: доминиращ остава глобалният композит на вегетационните индекси, а средносрочните сушкови сигнали модулират кумулативното усвояване на азот.

SHAP анализите (на база машинно обучение и обясним изкуствен интелект за предоставяне на специфични препоръки за обекта) потвърждават ясно изразена причинно-следствена йерархия: краткотрайният стрес контролира бързите решения за внасяне на N, докато състоянието на тревната повърхност определя кумулативните ефекти. Анализът на системния обектен модел (SOM) за периода 2019–2024 г. показва дългосрочно намаляване на органичната материя в повърхностните почвени слоеве, ясно пространствено разделение и силна положителна връзка между годишния вход на азот и съдържанието на Системния обектен модел на всички дълбочини. В обобщение, азотният модул на DSS може да

се опише като система с бърз цикъл, управляван от стреса и реализирания растеж, и бавен цикъл, при който Системния обектен модел интегрира многогодишните последиствия от управленските решения и функционира като индикатор за устойчивост.

Оптимизирането на напояването се основава на интегриране на времеви правила (Голф игрище А – GCA) и пространствена диагностика (Голф игрище Б – GCB) в единна логика на DSS. GCA описва динамиката на влагата във времето чрез текущото влагосъдържание, обусловения коефициент на евапотранспирация и оптимален влагов прозорец. GCB добавя пространствени модификатори, които обясняват локални зони на стрес или пренасищане въпреки приемливи средни стойности. В рамките на DSS времевите променливи определят базовите решения за напояване, а пространствените индикатори коригират риска и насочват зонално специфични управленски действия.

Задълбоченият анализ на резултатите от Голф игрище А (2019–2024 г.) показва стабилен и добре управляван режим на почвена влага, при който грийнът прекарва по-голямата част от сезона в умерен стрес, без навлизане в тежък стрес. Пространственият анализ на Голф игрище Б (2024 г.) разкрива, че въпреки добрите средни влагови нива в рамките на грийновете съществуват устойчиви сухи и влажни зони. Равномерността се подобрява през сезона, но при някои грийнове се наблюдават периоди на повишена хетерогенност, свързани с устойчиви пространствени клъстери. Това показва, че ефективното напояване изисква не само времеви контрол на влагата, но и пространствено насочени управленски действия.

Резултатите за развитието на кореновата система показват ясно изразена сезонна динамика с пролетен пик и летен спад, като режимът на напояване е основен контролиращ фактор, особено по време на топлинни вълни. Този ефект е стабилен между годините и пространствено устойчив в рамките на грийна. Интензивността на торене модифицира разпределенията, но не променя основната йерархия между режимите. Идентифицирани са два допълващи се коренови сигнала за DSS: (i) сезонна, чувствителна към стрес траектория, при която водната плътност последователно стабилизира кореновата дължина по време на топлинни вълни; и (ii) оперативен прокси слой, при който ограничен брой вегетационни индекси с лаг – за предпочитане в нискоразмерен композит – може да проследява и умерено да подобрява прогнозите за кореновата дължина при комбиниране с екологични драйвери. Заедно тези резултати дефинират дискретизирани BN-състояния за „състояние на корените“ и позволяват кореновата дълбочина да функционира като средносрочно ограничение както при избора на прагове за напояване, така и при определяне на азотни „safety margins“ при пясъчни условия.

На базата на отделни, богати на доказателства аналитични компоненти – азотна динамика и динамика на SOM, прагове за напояване и пространствена хетерогенност, коренови реакции и вегетационни прокси индекси, както и оперативен работен поток за дистанционни изследвания – е разработена AI-базирана интелигентна DSS рамка за подпомагане на управленските решения. Тази рамка следва четири основни стъпки и интегрира знания от литературни източници със специфични данни за изследвания обект. Представянето на резултатите целенасочено запазва методологичния контекст, за да се изясни как функционира

Bayesian Network (BN), как се изгражда и как се валидира с реални данни от пътинг грийнове.

В заключение, аналитичните компоненти на дисертационния труд се обединяват в единна вероятностна система, която предсказва ключови състояния на тревния чим с добра точност и интерпретируема неопределеност. Системата остава отворена за калибриране при постъпване на нови данни и позволява ясни контрафактични сравнения между алтернативни управленски стратегии.

## **6. Приноси на дисертационния труд.**

Въз основа на проведените експерименти, дистанционни наблюдения, моделиране, анализи и получените резултати са формулирани оригинални научни и научно-приложни практически приноси, които представям в резюмиран вид. Докторантът предлага и научно-обосновано решение за управление на пясъчно-базирани пътинг грийнове в голф игрищата. Приносите са на база на изследвания, които се правят за пръв път в България и разширяват съществуващите знания в областта на управлението на тревните площи, почвената хидрология и устойчивото използване на водните ресурси.

Разработени са методики за оценка на водния режим и хранителния баланс при пясъчно-базирани конструкции, адаптирани към специфичните климатични условия в страната. Изведени са практически препоръки за оптимизиране на напояването, торенето и аерационните практики с цел постигане на високо качество на тревната настилка при едновременно намаляване на разхода на вода и торове. Предложените модели и алгоритми позволяват прогнозиране на състоянието на грийновете при различни сценарии на климатичен стрес и интензивност на натоварване.

Получените резултати имат както теоретична стойност за развитието на научните изследвания в областта, така и пряко практическо приложение при проектиране, поддържане и устойчиво управление на голф игрища и други висококачествени спортни тревни площи.

### **Научни приноси**

1. Разработена е въглеродно-осъзната концептуална рамка за „тесен оперативен диапазон“ при интензивно поддържани пясъчнобазирани пътинг грийнове, която формализира взаимодействията между азотното управление, влаговия режим, стресовата експозиция, развитието на кореновата система и функционалното състояние на тревната повърхност. Рамката свързва управляемите агрономически фактори с въглеродните входи и загуби в пясъчни почвени профили с ускорен оборот и предлага механистично обяснение за различията в дългосрочните почвено-въглеродни траектории при привидно сходно визуално и функционално качество на тревния чим.

2. Установено е, че влаговата динамика в пясъчно базирани профили се характеризира с тесен оперативен диапазон, включващ горно плато, контролирано от дренажните свойства на профила, и зона на повишена нестабилност при влагово изчерпване. Чрез обясним анализ (SHAP) е потвърдена физически консистентна

йерархия на факторите, при която текущата почвена водообемна влажност (VWC) и изпарително-транспирационното търсене (ETc) доминират краткосрочната динамика и проявяват прагоподобно поведение. Получените резултати обосновават дискретизацията на VWC и ETc в интерпретируеми управленски състояния, приложими при моделиране на решения и при трансфер на знания между грийнове със сходни хидравлични характеристики на коренообитаемата зона.

3. Доказано е, че пространствената хетерогенност на влагата в рамките на грийна съществено определя реалната експозиция на воден стрес и не може да бъде адекватно описана единствено чрез средни стойности на VWC. Показателите за равномерност и вариация (DU, CV), площните дялове по влагови класове и клъстеризацията на времеви редове позволяват идентифициране на устойчиви сухи и влажни зони и оценка на тяхната сезонна стабилност. На тази основа се аргументира необходимостта от включване на пространствената диагностика като самостоятелен управленски слой, разграничим от времевата динамика на изчерпване—възстановяване.

4. Описани са предвидими сезонни траектории на развитие на кореновата система и устойчиви йерархии на третиранията при различни режими на напояване. Установено е, че дефицитно-ориентираното напояване стимулира формирането на по-дълбока и функционално устойчива коренова система, особено при условия на топлинен стрес. Прогнозните модели показват, че водният баланс е водещ детерминант на вариациите в кореновата дължина, докато спектралните показатели от надземната част предоставят допълваща физиологична информация. Така се установява връзка между режима на напояване, хранителната динамика и подземното разпределение на биомаса в контекста на въглеродната устойчивост.

5. Разработен е високоточен модул за семантична сегментация на база U-Net архитектура, който стандартизира зоните на интерес (AOIs) и елиминира контаминацията във времевите редове на вегетационните индекси. Това осигурява методологична последователност при дългосрочен мониторинг на хетерогенни изображения. Чрез многосезонна клъстеризация големи архиви от вегетационни индекси са редуцирани до устойчиви и интерпретируеми функционални режими на тревната повърхност, като анализът на сходството идентифицира стабилни групи индекси, свързани със структурата и стресовото състояние на растителността.

6. Разработен и валидиран е възпроизводим метод за изграждане на Байесова мрежова система за подпомагане на вземането на решения (Bayesian Network Decision Support System), структурирана по приоритетен модел и адаптирана чрез актуализация със специфични за обекта данни. Мрежата е валидирана с независими набори от данни и осигурява количествена оценка на вероятностната надеждност. Подходът интегрира влажността, азотното снабдяване, състоянието на тревната повърхност и кореновите ограничения в единна вероятностна логика на решение, като експлицира управленските компромиси при наличие на неопределеност.

### **Научно-приложни приноси**

1. Предложена е интегрирана научно-приложна рамка за въглеродно-осъзнато и риск-ориентирано управление на пясъчно базирани пътинг грийнове. Разработена е формализирана логика за вземане на решения, основана на прагови състояния на почвената влажност, изпарително-транспирационното търсене, състоянието на кореновата система и пространствената хетерогенност.

2.Формулирани са правила за напоително планиране на база прагови стойности на обемното водно съдържание (VWC) и евапотранспирацията (ET), позволяващи балансиране между минимизиране на стреса и повишаване на ресурсната ефективност.

3.Разработена е методика за пространствена диагностика на влагата в грийна, базирана на показатели за равномерност (DU), вариация (CV), влагови класове и клъстеризация на времеви редове, която позволява разграничаване между времеви и пространствени ефекти и подпомага по-прецизна идентификация на причините за неравномерно напояване.

4.Въведен е подход за прогнозиране на риска от загуба на коренова маса чрез сезонни модели на вкореняване и режим-специфични предиктори, осигуряващ ранна индикация за критични периоди, особено при топлинен стрес. Това позволява адаптиране на праговете за напояване и дефиниране на безопасни граници за азотно торене съобразно реалния капацитет за усвояване.

5.Предложен е компактен, интерпретируем набор от вегетационни индекси за рутинен мониторинг и интеграция в DSS, в комбинация със стандартизирани AOI маски за тревните площи, осигуряващ надежден поток от доказателства за оценка на стреса и функционалното състояние на тревната повърхност.

6.Разработената BN-ориентирана DSS трансформира емпиричните данни във формализирана вероятностна рамка за вземане на решения чрез интеграция на сензорни и спектрални индикатори, управление на неопределеността и анализ на алтернативни сценарии. Чрез контрафактна оценка системата позволява количествено сравнение на стратегии за напояване и торене и повишава прозрачността и обосноваването на управленските решения.

### **Научен принос за внедряване в практиката**

1.Разработен е модулен dashboard за внедряване на интелигентна BN-DSS, който превежда моделните прагове в оперативни решения на дневно–седмичен мащаб. Той обединява метеорологични, сензорни и дистанционни данни и предоставя съгласувани интерпретации за напояване, торене, кореново развитие и състояние на тревната повърхност. Като практичен инструмент dashboard-ът поддържа диагностика, планиране и проверима следа на действията, осигурявайки кохерентен интерфейс за адаптивно и въглеродно-осъзнато управление.

### **7. Критични бележки и въпроси.**

Нямам критични въпроси бележки към представения дисертационен труд, който е добре структуриран, методически издържан, резултатите са ясно аргументирани.

Използваните съкращения в научния труд следва да бъдат описани отделно

### **8. Публикувани статии и цитирания**

Докторантът е представил 3 статии, свързани с дисертационния труд – две самостоятелни и една в съавторство, с което покрива минималните наукометрични изисквания от 30 точки, съгласно правилника за приложение ЗРАСРБ.

Представеният автореферат отразява обективно структурата и съдържанието на дисертационния труд.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ:**

Въз основа на научените и приложените, от докторанта/ката, различни методи на изследване, правилно изведените експерименти, направените обобщения и изводи считам, че представеният дисертационен труд отговаря на изискванията на ЗРАСРБ и Правилника на Аграрния университет за неговото приложение, което ми дава основание да го оценя **ПОЛОЖИТЕЛНО**.

Позволявам си да предложа на почитаемото Научно жури също да гласува положително и да присъди на Ивелин Димитров Марков образователната и научна степен “**доктор**” по научната специалност „Фуражно производство, ливадарство“.

Подписите в този документ са заличени

**Дата:** 05.03.2026 г.  
гр. Пловдив

**РЕУ** във връзка с чл.4, т.1 от Регламент (ЕС) 2016/679

(Общ Регламент относно защитата на данни).