



Az ökológiailag fenntartható erdőgazdálkodást megalapozó terepi kísérletek a Pilisben

Kovács Bence¹, Horváth Csenge Veronika^{1,2}, Tinya Flóra¹,
Illés Gábor³, Csépanyi Péter⁴ és Ódor Péter^{1,5}

¹ Ökológiai Kutatóközpont, Ökológiai és Biológiai Intézet; ² Eötvös Loránd Tudományegyetem, Biológia Doktori Iskola;
³ Soproni Egyetem, ERTI; ⁴ Pilisi Parkerdő Zrt.; ⁵ Soproni Egyetem, EMK Környezet- és Természetvédelmi Intézet



IV. Légi Térképészeti és Távérzékelési Konferencia

Bevezetés: Motivációk

- **paradigmaváltás az erdészeti gyakorlatban**
- **új üzemmódok** → több választható fahasználati mód
- **szükség van a faanyagtermelés, a természetvédelmi célok és az ökoszisztéma szolgáltatások közötti harmonizációra**

hazánk erdősültsége: ~21%

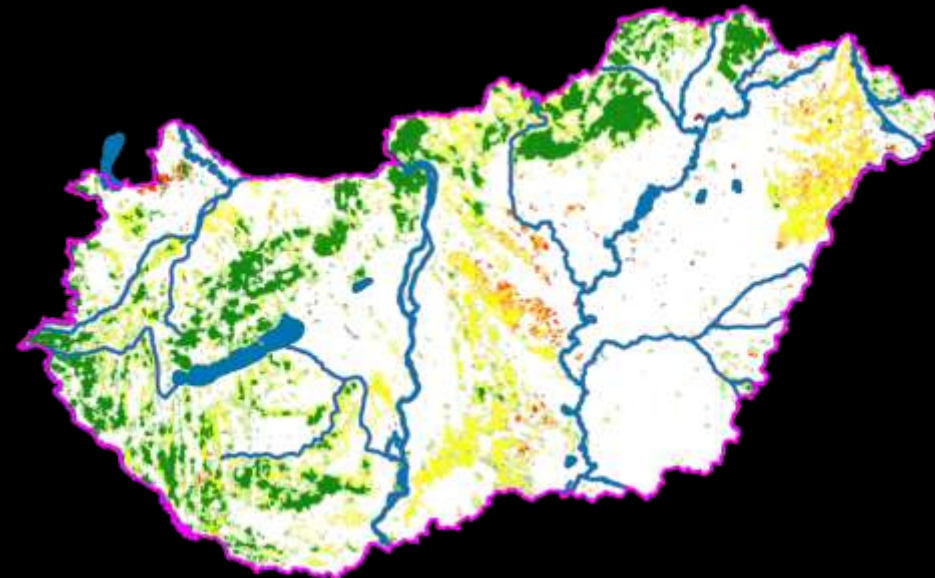
- **kezelt (gazdasági) erdők: 96%**
- **védett erdőterületek (korlátozások a fahasználatban): 20%**

választható üzemmódok:

- 1. vágásos üzemmód, fokozatos felújítóvágások (természetes újulat)**
→ *őshonos fafajú hegy/dombvidéki erdők*
- 2. vágásos üzemmód, tarvágás v. rövid vágásforduló (mesterséges felújítás)**
→ *síkvidéki erdők, ültetvényyszerű erdők*
- 3. örökerdő üzemmód, szálaló üzemmód**
→ ~4%, kevésbé zárt állományok



© <https://karpatierdeink.hu/>



Bevezetés: Motivációk

- **paradigmaváltás az erdészeti gyakorlatban**
- **új üzemmódok** → több választható fahasználati mód
- **szükség van a faanyagtermelés, a természetvédelmi célok és az ökoszisztéma szolgáltatások közötti harmonizációra**

hazánk erdősültsége: ~21%

- **kezelt (gazdasági) erdők: 96%**
- **védett erdőterületek (korlátozások a fahasználatban): 20%**

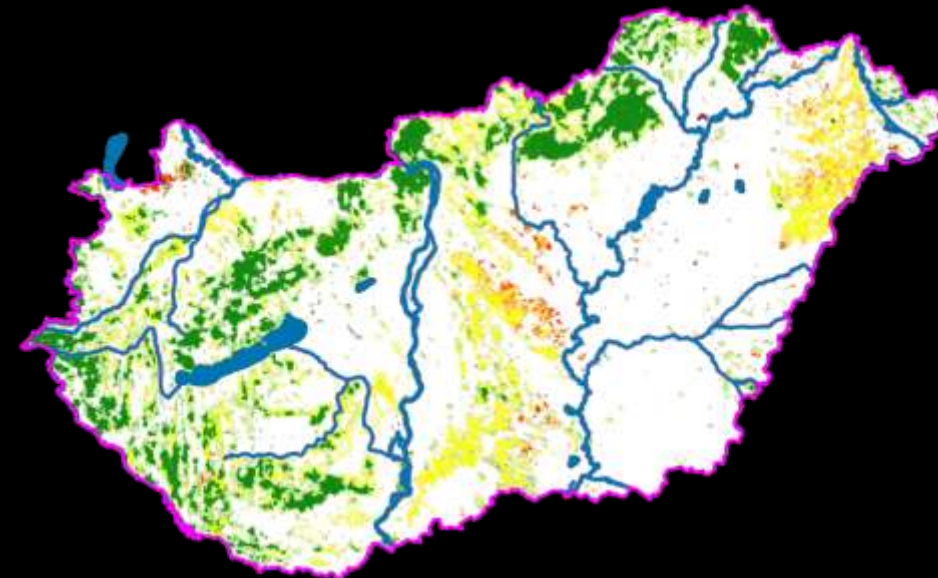
választható üzemmódok:

1. **vágásos üzemmód**, fokozatos felújítógátások (természetes újulat)
→ *őshonos fafajú hegy/dombvidéki erdők*
2. **vágásos üzemmód**, tarvágás v. rövid vágásforduló (mesterséges felújítás)
→ *síkvidéki erdők, ültetvényyszerű erdők*
3. **örökerdő üzemmód, szálaló üzemmód**
→ ~4%, kevésbé zárt állományok

- **fontos, hogy minél jobban megismerjük a fahasználatok, a termőhelyi viszonyok és a biodiverzitás összefüggéseit**



© <https://karpatierdeink.hu/>



Bevezetés: A kísérletek áttekintése

Fahasználatok, termőhelyi viszonyok, természetes regeneráció és a biodiverzitás összefüggései
→ *terepi kísérletek* (☺ beállított kezelési szintek, megfelelő ismétlésszám ☹ kevés térbeli ismétlés)

Erdészeti beavatkozások

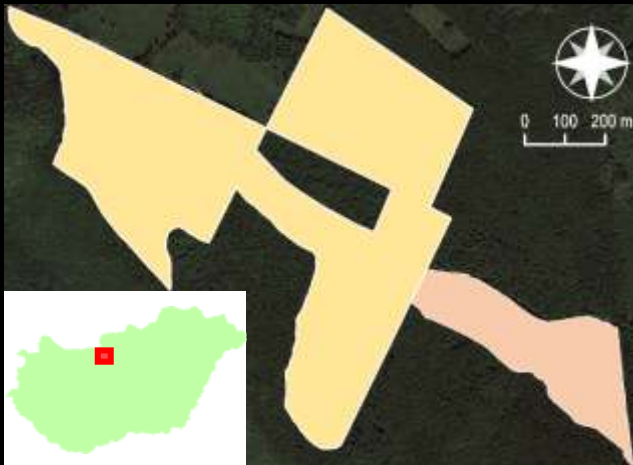
a *vágásos* és az *örökerdő*
üzemmód fahasználatai

1. kísérlet

különböző *mesterséges lékek*

2. kísérlet

- **domborzat:** 390-460 m tszf., É-i kitettség
- **alapkőzet:** homokkő és mészkő
- **talajtípus:** barna erdőtalajok és rendzinák
- **mezoklíma:** 9,0–9,5°C; 650 mm/év
- **erdőtípus:** gyertyános–kocsánytalan tölgyes
- **állomány:** idős, elegyetlen, gazdasági



(47°40' 13" N, 18°54' 55" E)

Bevezetés: A kísérletek áttekintése

Fahasználatok, termőhelyi viszonyok, természetes regeneráció és a biodiverzitás összefüggései

→ *terepi kísérletek* (☺ beállított kezelési szintek, megfelelő ismétlésszám ☹ kevés térbeli ismétlés)

Erdészeti beavatkozások

a *vágásos* és az *örökerdő*
üzemmód fahasználatai

1. kísérlet

különböző *mesterséges lékek*

2. kísérlet

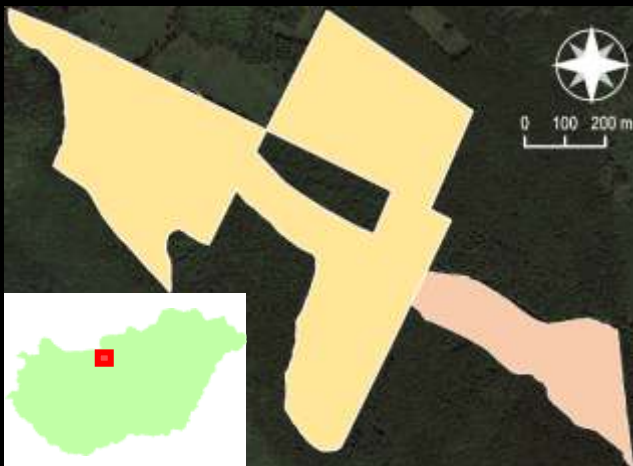


- **domborzat:** 390-460 m tszf., É-i kitettség
- **alapkőzet:** homokkő és mészkő
- **talajtípus:** barna erdőtalajok és rendzinák
- **mezoklíma:** 9,0–9,5°C; 650 mm/év
- **erdőtípus:** gyertyános–kocsánytalan tölgyes
- **állomány:** idős, elegyetlen, gazdasági



Termőhelyi viszonyok

- direkt és diffúz fény
- léghőmérséklet
- páratartalom
- talajhőmérséklet
- talajnedvesség-tartalom
- avarviszonyok
- a talaj fizikai változói
- a talaj kémiai változói



(47°40' 13" N, 18°54' 55" E)

Bevezetés: A kísérletek áttekintése

Fahasználatok, termőhelyi viszonyok, természetes regeneráció és a biodiverzitás összefüggései

→ *terepi kísérletek* (☺ beállított kezelési szintek, megfelelő ismétlésszám ☹ kevés térbeli ismétlés)

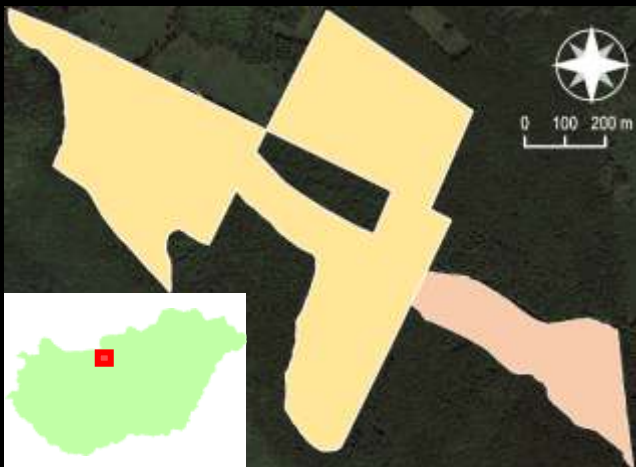
Erdészeti beavatkozások

a *vágásos* és az *örökerdő* üzemmód fahasználatai

1. kísérlet

különböző *mesterséges lékek*

2. kísérlet



(47°40' 13" N, 18°54' 55" E)

- **domborzat:** 390-460 m tszf., É-i kitettség
- **alapkőzet:** homokkő és mészkő
- **talajtípus:** barna erdőtalajok és rendzinák
- **mezoklíma:** 9,0–9,5°C; 650 mm/év
- **erdőtípus:** gyertyános–kocsánytalan tölgyes
- **állomány:** idős, elegyetlen, gazdasági



Termőhelyi viszonyok

- direkt és diffúz fény
- léghőmérséklet
- páratartalom
- talajhőmérséklet
- talajnedvesség-tartalom
- avarviszonyok
- a talaj fizikai változói
- a talaj kémiai változói

Természetes regeneráció, biodiverzitás és folyamatok

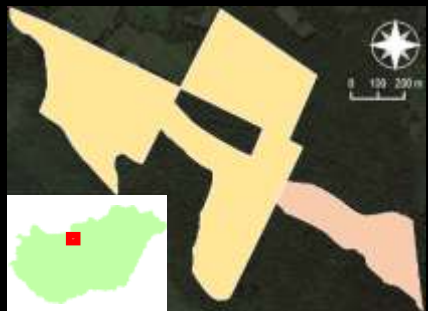
- *lutobogarak* és pókok
- kétszárnyúak
- talaj mezofauna
- talaj mikrobiom, gombák
- növényzet, fásszárú újulat
- vadhatás

Bevezetés: Motivációk

- multifunkcionális és „éghajlatbarát” erdőgazdálkodás
 - egyidejű gazdasági, természetvédelmi és társadalmi igények
 - folyamatos erdőborítás melletti gazdálkodás előtérbe kerülése
- a közép-európai lombhullató állományokban: mesterséges lécek
 - a lécek alakja, mérete, tájolása, stb. nagyon változatos
 - hol, mikor és hogyan nyissunk léceket?
- egy kísérleti elrendezésben több üzemmód vizsgálata ritka
- tölgy-domináns erdőkben kialakított lécekről kevesebbet tudunk
- fahasználatok direkt és indirekt hatást gyakorolnak az erdei életközösségre és a természetes felújulásra
 - terepi kísérletek és multi-taxon megközelítés szükségessége



A Pilis Üzemmód Kísérlet (*Pilis Forestry Systems Experiment; PSE*)



- 5 kezelés

Vágásos üzemmód

Tarvágás (d=80 m)

Hagyásfacsoport (d=20 m)

Egyenletes bontás (d=80 m)

Örökerdő üzemmód

Lékvágás (d=20 m)

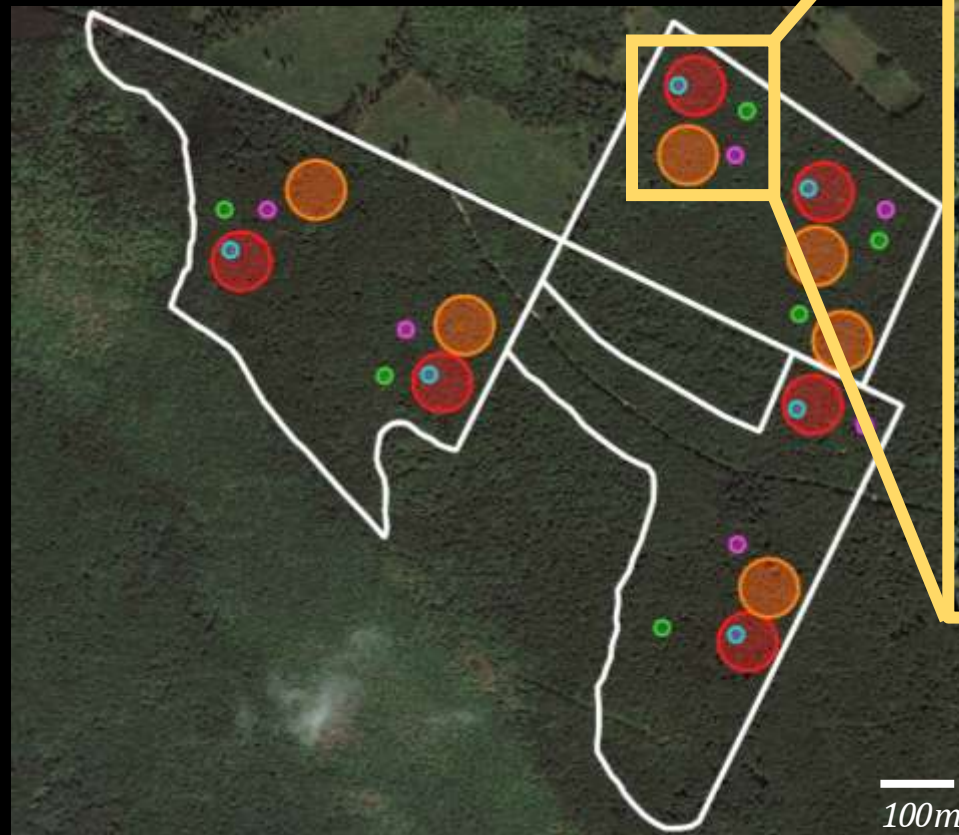
Kontroll

- 6 ismétlés

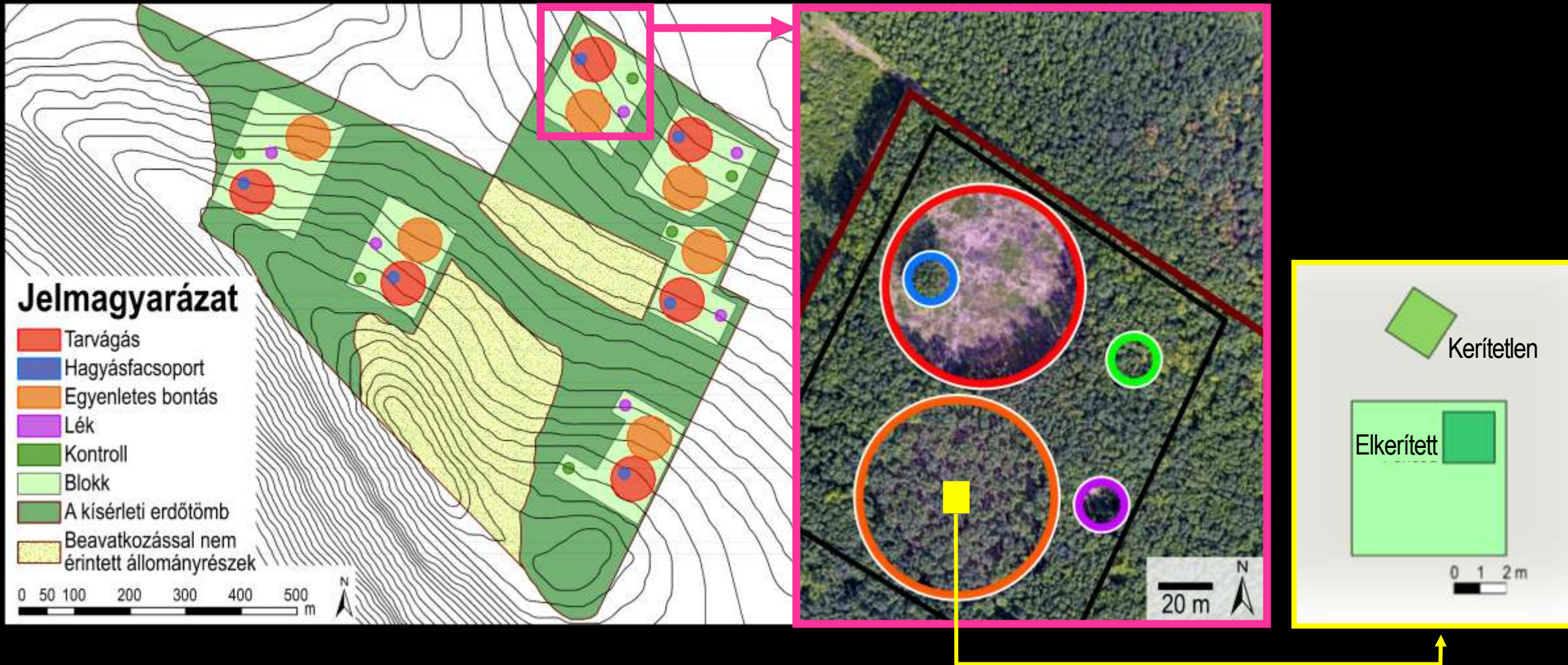
- Teljes blokk elrendezés

- BACI (Before-After-Control-Impact) mintavétel → kettős kontroll (időbeli és térbeli)

- Minden vizsgálat 2014 óta zajlik



A Pilis Üzemmód Kísérlet (*Pilis Forestry Systems Experiment; PSE*)



- ~40 ha-os, közel homogén tömb – 80 éves gyertyános-kocsánytalan tölgyes
- 5 kezelés 6 ismétlésben + minden kezelés középpontjában 6 × 6 m-es kerítés

A Pilis Üzemmód Kísérlet (*Pilis Forestry Systems Experiment; PSE*)



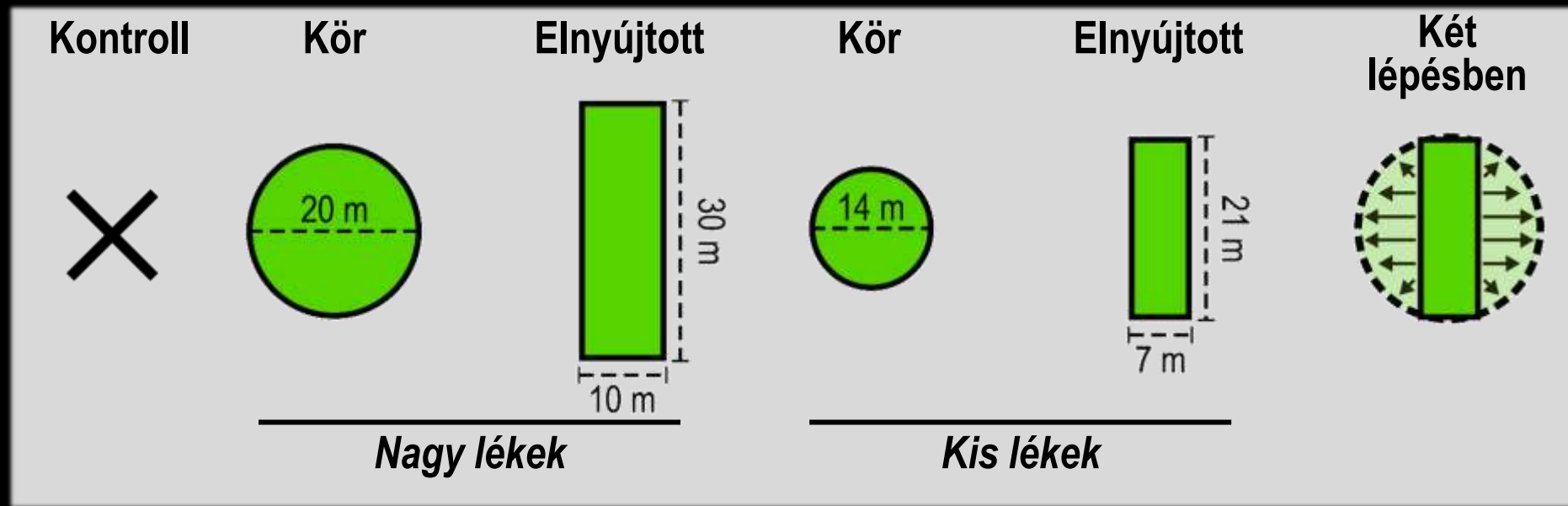
- csak 4 blokkban térben kiterjesztett mintavétel is zajlott
- 2 × 2 m-es grid – vegetáció + fény + SWC + aljzat
- 2016, 2018, 2020, 2022

A Pilis Lék Kísérlet (*Pilis Gap Experiment; PGE*)

A kísérlet központi célja:

- a lékméret (150 m² ill. 300 m²)
- a lékalak (kör alakú ill. elnyújtott)
- és a kialakítás módjának (egy- vagy több lépésben)

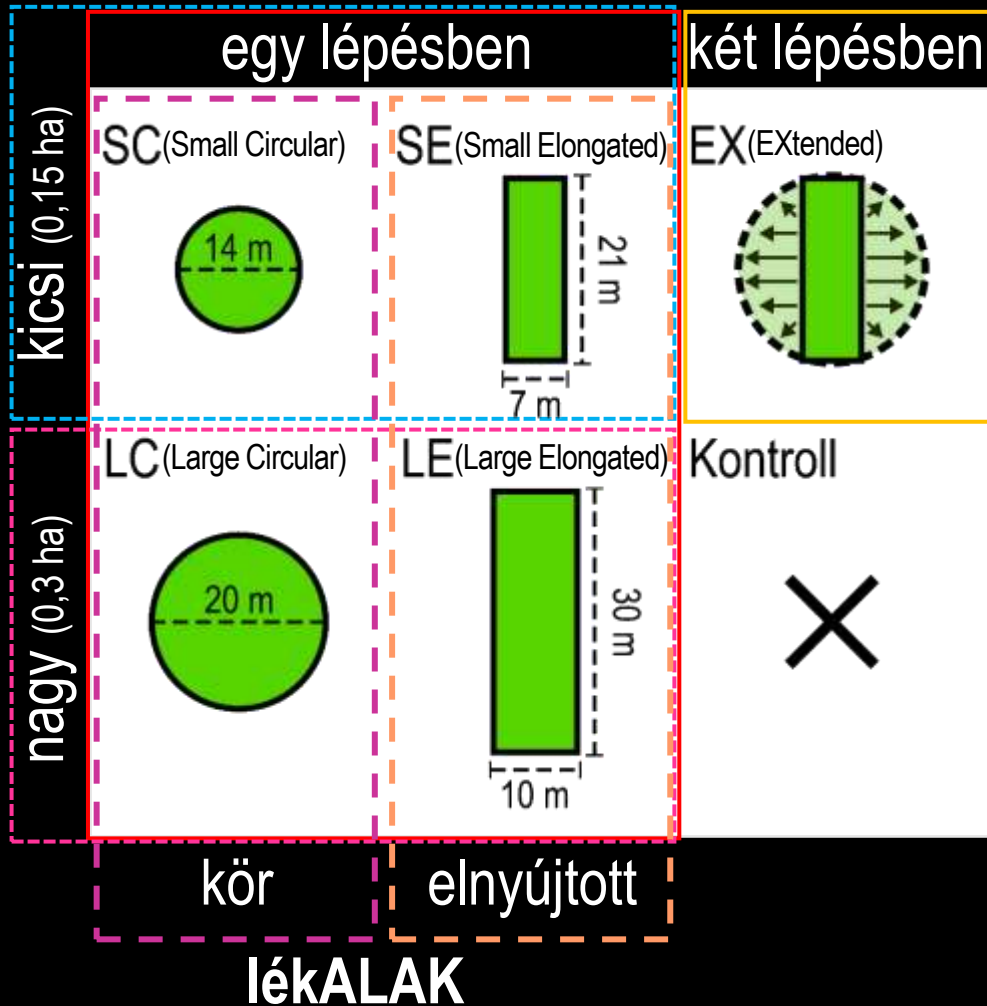
egyidejű tesztelése



6 ismétlés
Teljes blokk
BACI
2018 óta

A Pilis Lék Kísérlet (*Pilis Gap Experiment*; PGE)

LÉKINYITÁS MÓDJA



A Pilis Lék Kísérlet (*Pilis Gap Experiment; PGE*)

LÉKINYITÁS MÓDJA


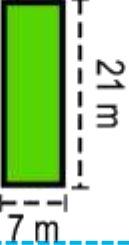
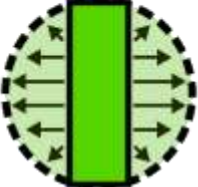
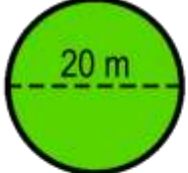
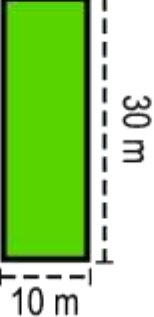

hogyan hat



a termőhelyre?

- direkt és diffúz fény
- léghőmérséklet
- páratartalom
- avarviszonyok
- talajhőmérséklet
- talajnedvesség viszonyok
- talaj tápanyagtartalma
- talaj fizikai összetétele

LÉKMÉRLET

	egy lépésben		két lépésben
kicsi (0,15 ha)	SC (Small Circular) 	SE (Small Elongated) 	EX (EXtended) 
nagy (0,3 ha)	LC (Large Circular) 	LE (Large Elongated) 	Kontroll 

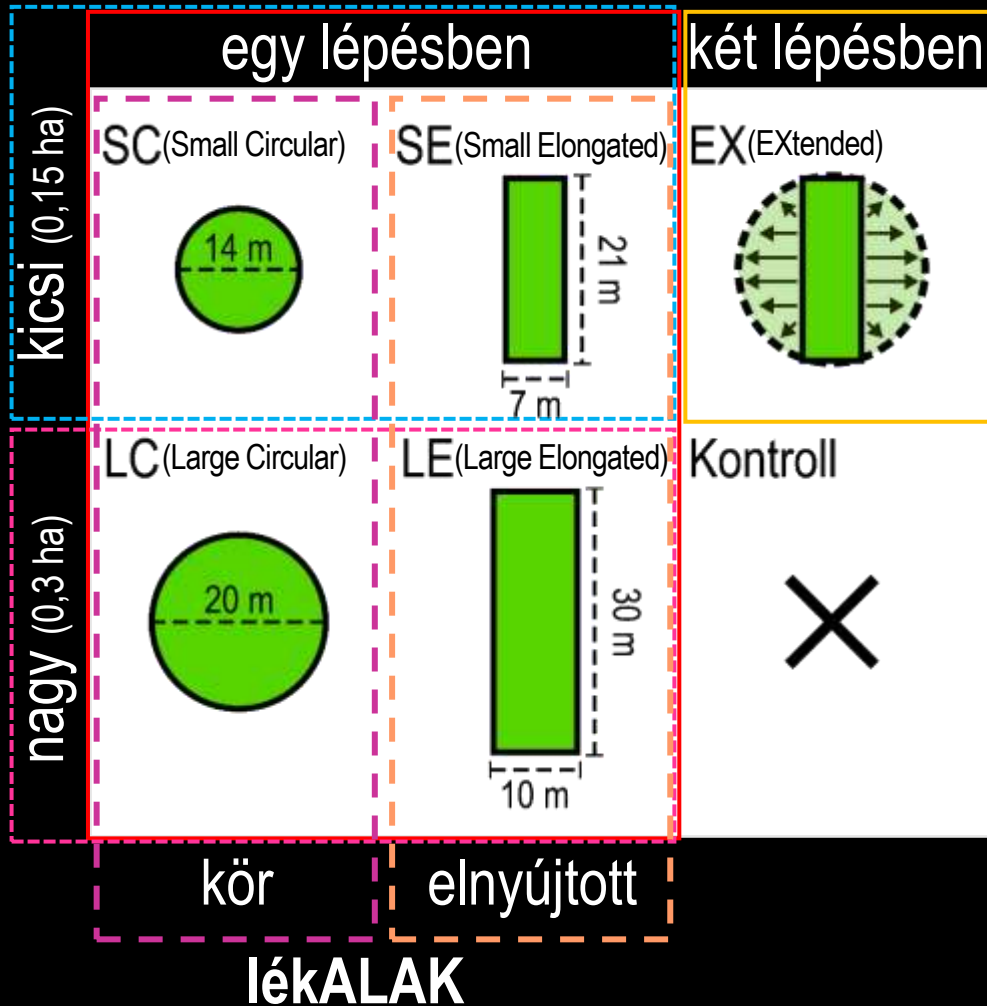
kör

elnyújtott

LÉKALAK

A Pilis Lék Kísérlet (*Pilis Gap Experiment; PGE*)

LÉKINYITÁS MÓDJA



hogyan hat



a termőhelyre?

- direkt és diffúz fény
- léghőmérséklet
- páratartalom
- avarviszonyok
- talajhőmérséklet
- talajnedvesség viszonyok
- talaj tápanyagtartalma
- talaj fizikai összetétele

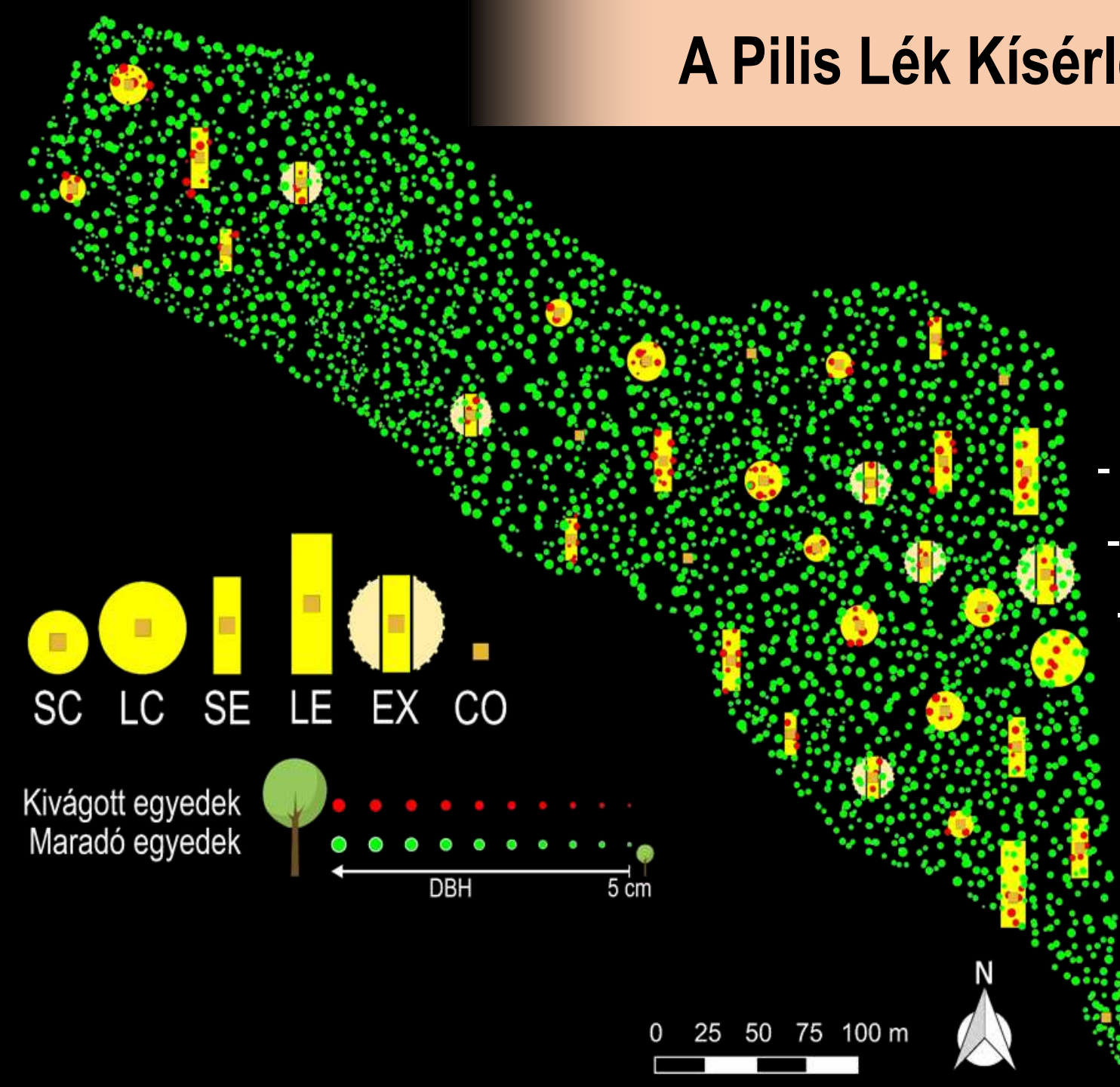
ezen keresztül



a kocsánytalan tölgy felújulására és a biodiverzitásra?

- futóbogarak
- pókok
- kétszárnyúak
- talajfauna
- aljnövényzet
- kocsánytalan tölgy

A Pilis Lék Kísérlet (*Pilis Gap Experiment; PGE*)



- 9,7 ha-os tömb

- teljesen bekerítve (Ø vad)

- 5 kezelés+kontroll 6 ismétlésben

- teljes blokk elrendezés + BACI

- 2018: alapállapot-felvétel + a faállomány feltérképezése (Field-Map & földi LiDAR)

- fahasználatok: 2019

Mintavételi elrendezés

Állomány-szintű vizsgálat

- faállomány-szerkezet
- újulati foltok nyomon követése



Mintavételi elrendezés

Állomány-szintű vizsgálat

- faállomány-szerkezet
- újulati foltok nyomon követése

Lékszintű vizsgálatok - évente

a lékek középponti régiójában

- fény: halszemoptikás felvételek
- mikroklíma: folyamatos adatrögzítés
- avar- és talajminták
- aljnövényzet: állandósított kvadrátok
- kocsánytalan tölgy felújulása: mortalitás, növekedés
- állatcsoportok: televényférgék, futóbogarak, pókok, kétszárnyúak



Mintavételi elrendezés

Állomány-szintű vizsgálat

- faállomány-szerkezet
- újulati foltok nyomon követése

Lékszintű vizsgálatok - évente

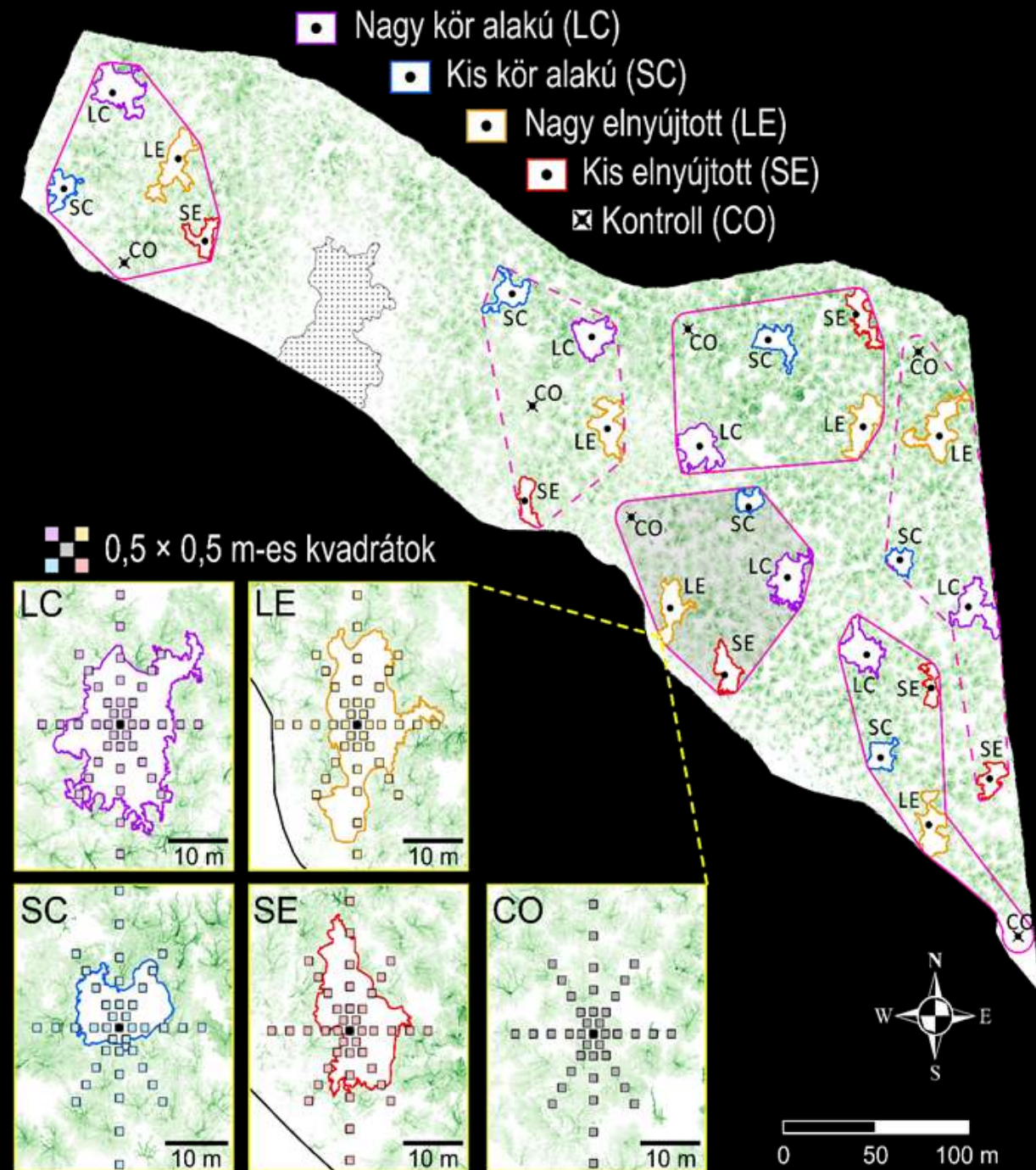
a lécek középponti régiójában

- fény: halszemoptikás felvételek
- mikroklíma: folyamatos adatrögzítés
- avar- és talajminták
- aljnövényzet: állandósított kvadrátok
- kocsánytalan tölgy felújulása: mortalitás, növekedés
- állatcsoportok: televényférgék, futóbogarak, pókok, kétszárnyúak

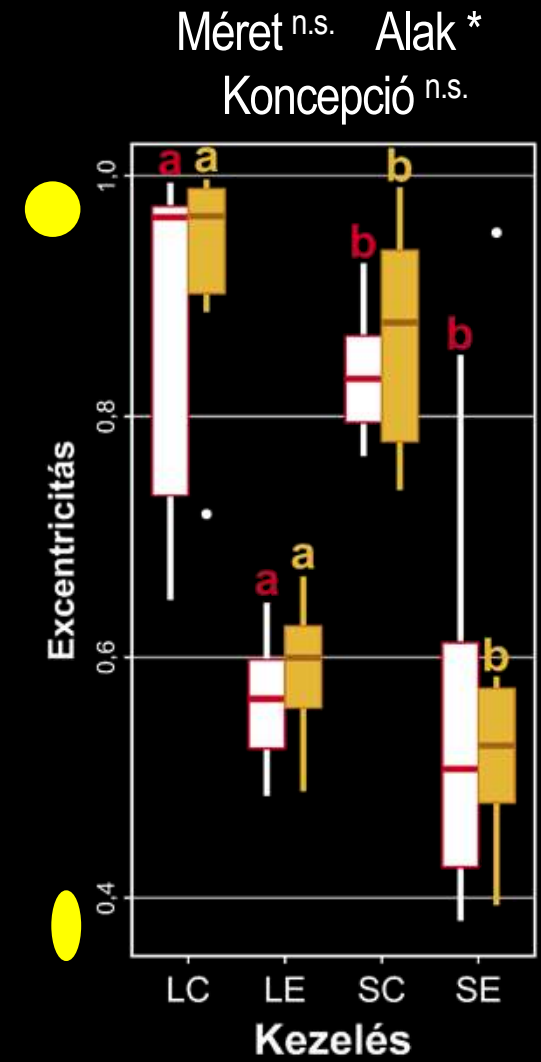
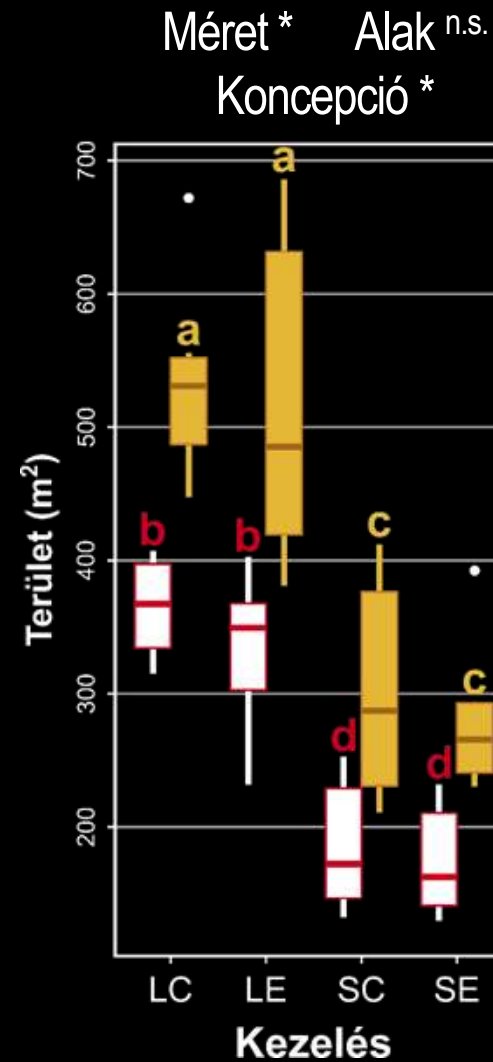
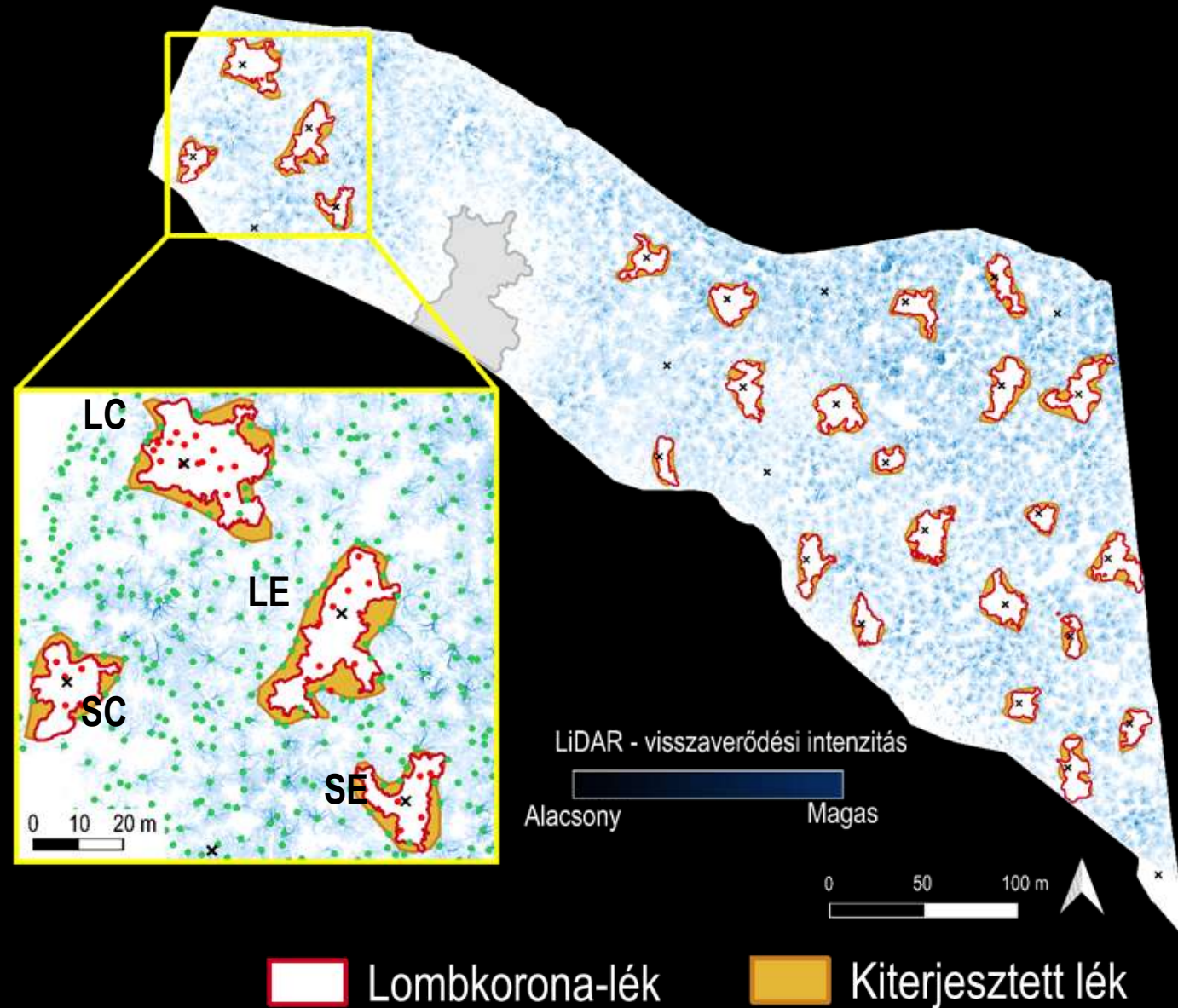
Léken belüli szint - kétfévente

szisztematikus mintavétel 4 blokk, 41 kis kvadrát

- aljnövényzet
- fény és talajnedvesség



A Pilis Lék Kísérlet (*Pilis Gap Experiment; PGE*) – tervek és valóság

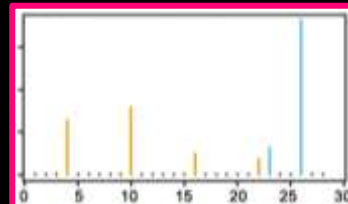
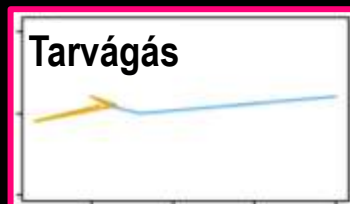
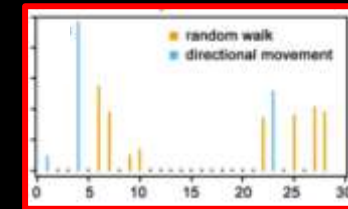
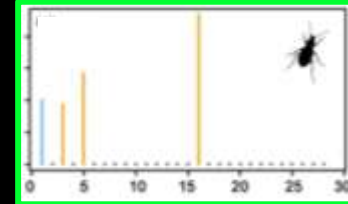


ANOVA (* $p < 0,05$) + abc Tukey-féle post-hoc ($\alpha = 0,05$)

A kísérletekhez kapcsolódó távérzékelési projektek: rádiótelemetria alkalmazása



- trajektóriák és aktivitásmintázatok nyomon követése
- területhasználat + egyedi viselkedésmintázatok feltárása
- modell faj *Carabus coriaceus*
- PicoPip (Biotrack Ltd.) jeladó – 0,29 g, 150,325–150,915 MHz
- mozgások osztályozása két fő típusra: véletlenszerű és direkcionális mozgás



- a futóbogarak képesek hatékonyan elkerülni a kedvezőtlen környezeti feltételeket beavatkozással érintett területeken
 - tarvágás: D túlsúlya (a zárt állomány felé)
 - bontás: $R \approx D$
 - zárt kontroll: inkább R
- napi ~25% inaktív állapot, éjszakai aktivitás

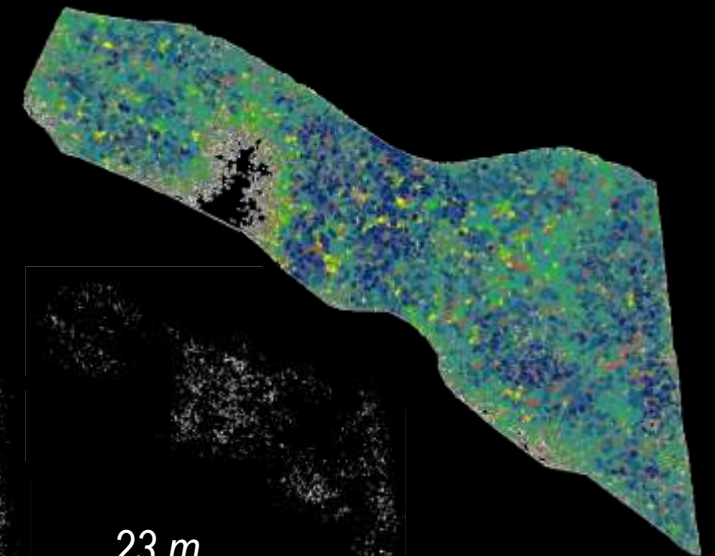
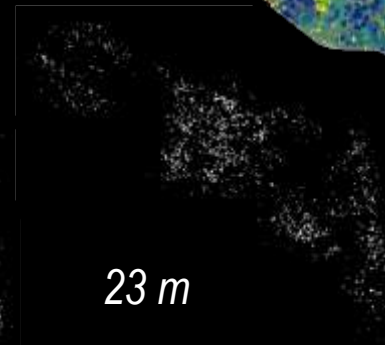
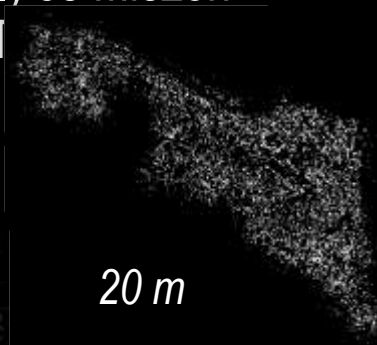
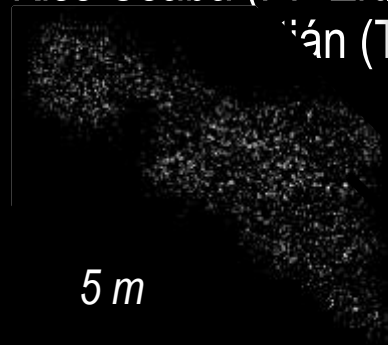
A kísérletekhez kapcsolódó távérzékelési projektek: *földi lézerszkennelés az állományfelmérésben*

- a teljes 9,7 ha-ra minden $DBH \geq 5$ cm faegyed geodéziai térképezése Field-Map rendszerben (MapStar TruAngle, TruPulse 200X)
- 2018/2019 tele (lombtalan állapot) → Trimble TX6 lézerszkennő, 3 Mrd pont kiértékelés: Trimble Realworks 11 és GreenValley LiDAR 360
- az előfeldolgozott pontfelhőből → domborzatmodell (25 cm), egyedek lehatárolása, majd erdészeti változók származtatása: átmérő, famagasság, koronaterület, koronahossz + az állomány vertikális és horizontális szerkezete
- a két adatforrás összefűzése egy rendszerbe

- ↓
 - ideális teszterület/referencia-adatsor – pl. Brolly Gábor (SOE EMK); Kiss Csaba (PP Zrt.) és Miszori



Bakó Gábor et al. 3 cm-es terepi felbontású ortofotó és pontfelhő



Köszönöm a figyelmet!

A projektek résztvevői:

Ódor Péter – témavezető

Aszalós Réka (ÖK ÖBI) – növényzeti válaszok

Bidló András (SOE EMK) – avar és talaj

Boros Gergely (MATE) – televényférgék

Elek Zoltán (ÁE) – futóbogarak

Flórián Norbert (ATK TAKI) – talaj mezofauna

Geml József (EKKE) – talaj mikrobiom, gombaközösségek

Horváth Csenge Veronika (ELTE) – finomléptékű vizsgálatok

Illés Gábor (SOE ERTI) – LiDAR, faállomány

Imréné Takács Tünde (ATK TAKI) – talaj mikrobiom

Németh Csaba (ÖK ÖBI) – terepmunkák

Jana Růžičková (MTA-ELTE-MTM) – futóbogarak

Samu Ferenc (ATK NÖVI) – pókok

Sass Vivien (SOE EMK) – avar és talaj

Soltész Zoltán (ÖK ÖBI) – kétszárnyúak

Tinya Flóra (ÖK ÖBI) – fénymérés, növényzeti válaszok

Kovács Bence (ÖK ÖBI) – mikroklíma, vadhatás, fatérkép

Köszönetnyilvánítás:

Csépányi Péter és a Pilisi Parkerdő Zrt.

Pilisszentkereszti Erdészet munkatársai
(Farkas Viktor, Szenthe Gábor és Simon László)

Félegyházi Luca, Margaret Gathoni

Gitau, Julia S. Locatelli, Tóth Bence, Vadas
Ákos

Jakab Eszter, Bárbara Matos, Lorenzo Crecco

MTA INFRA, NKFIA K 128441, NKFIA K 143270,
NKFIA PD 123811, NKFIA PD 134302, MTA KEP,
GINOP-2.3.2-15-2016-00019, RRF-2.3.1.-21-2022-00006

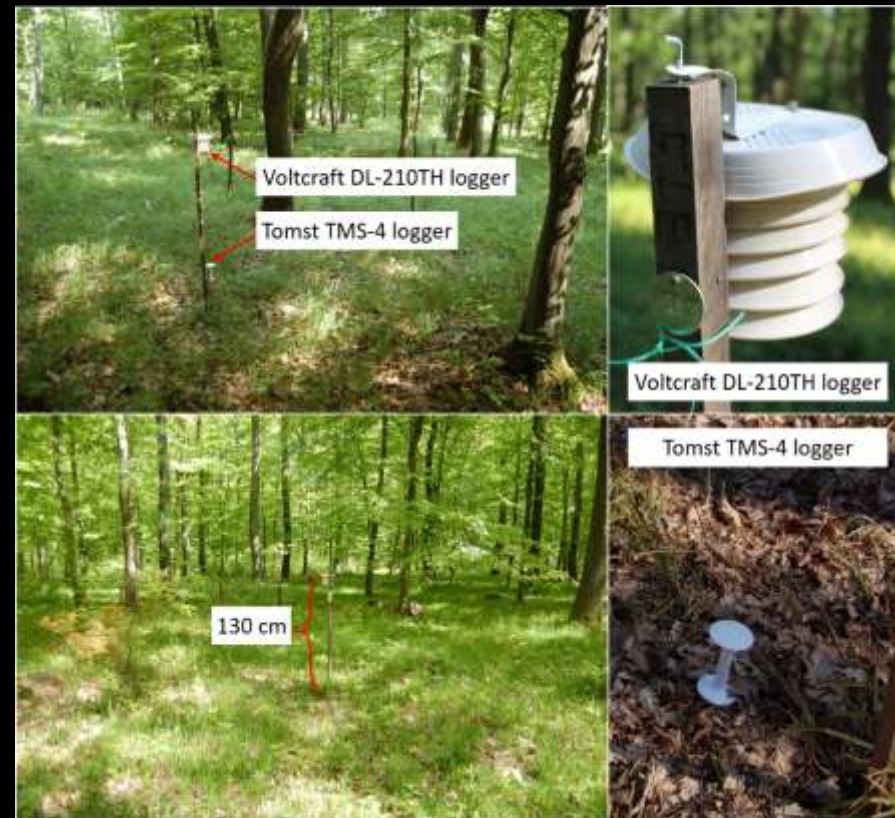


✉ kovacs.bence@ecolres.hu

✉ odor.peter@ecolres.hu

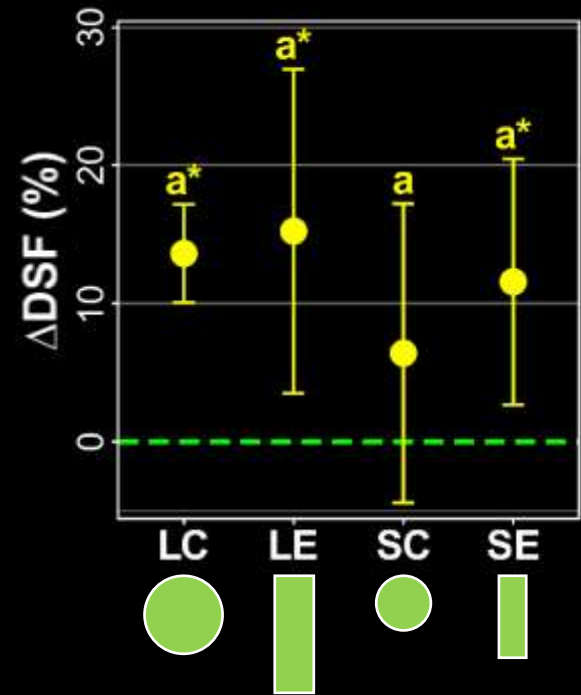


Léknyitások utáni mikroklíma-válaszok

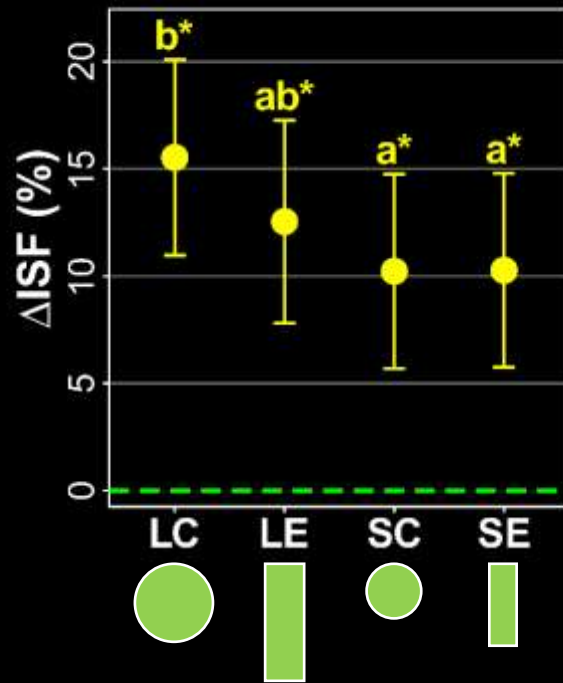


A lécek középpontjában mért változások 1.

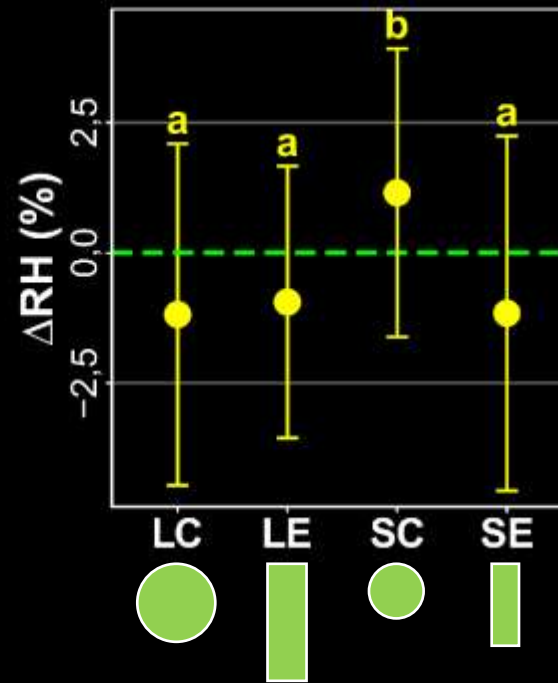
Direkt fény



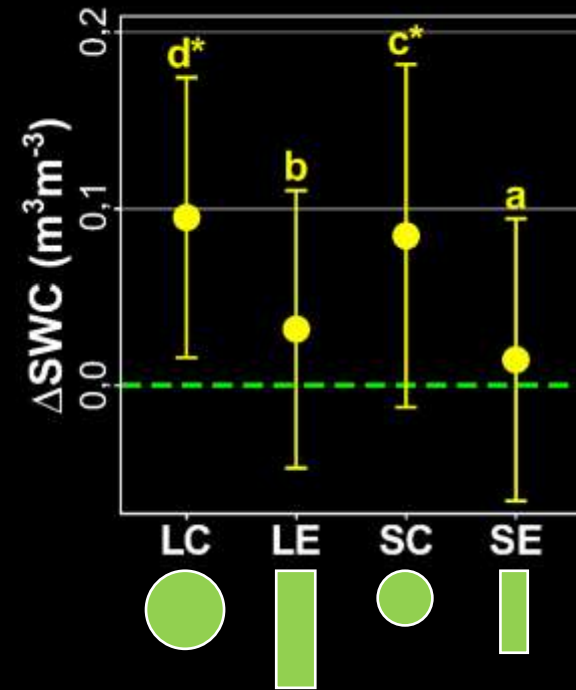
Diffúz fény



Páratartalom



Talajnedvesség



az egyes lécek nem
különböznek

nagyobb lécek
= több diffúz fény

kontrollhoz
hasonló marad

kör alakú lécekben
nőtt meg

A lécek középpontjában mért változások 2.

tldr

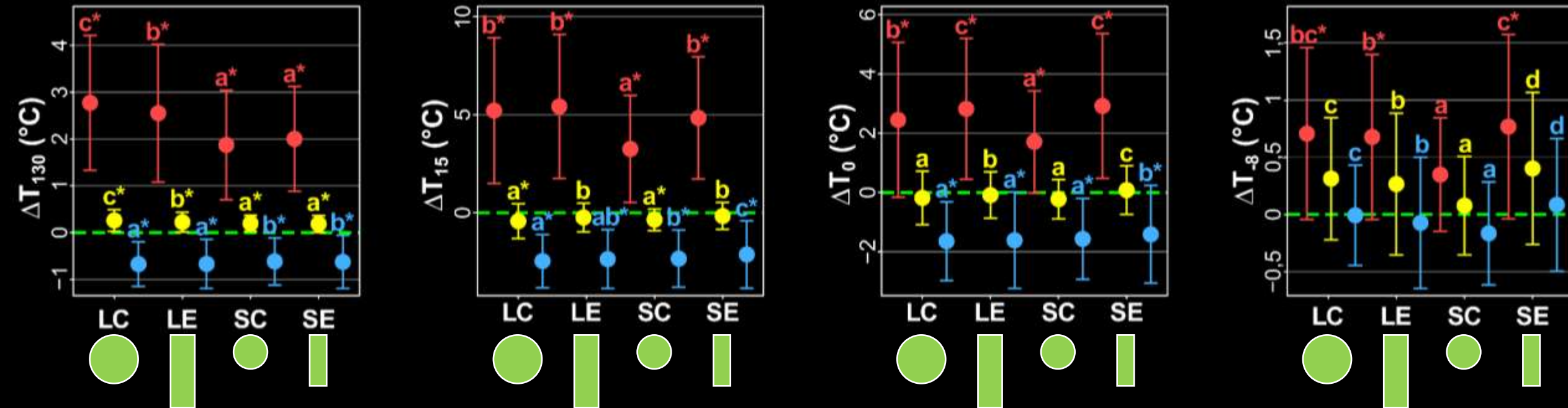
napi **minimum** **átlag** **maximum** hőmérsékletek

130 cm-en

15 cm-en

talajfelszínen

8 cm mélyen



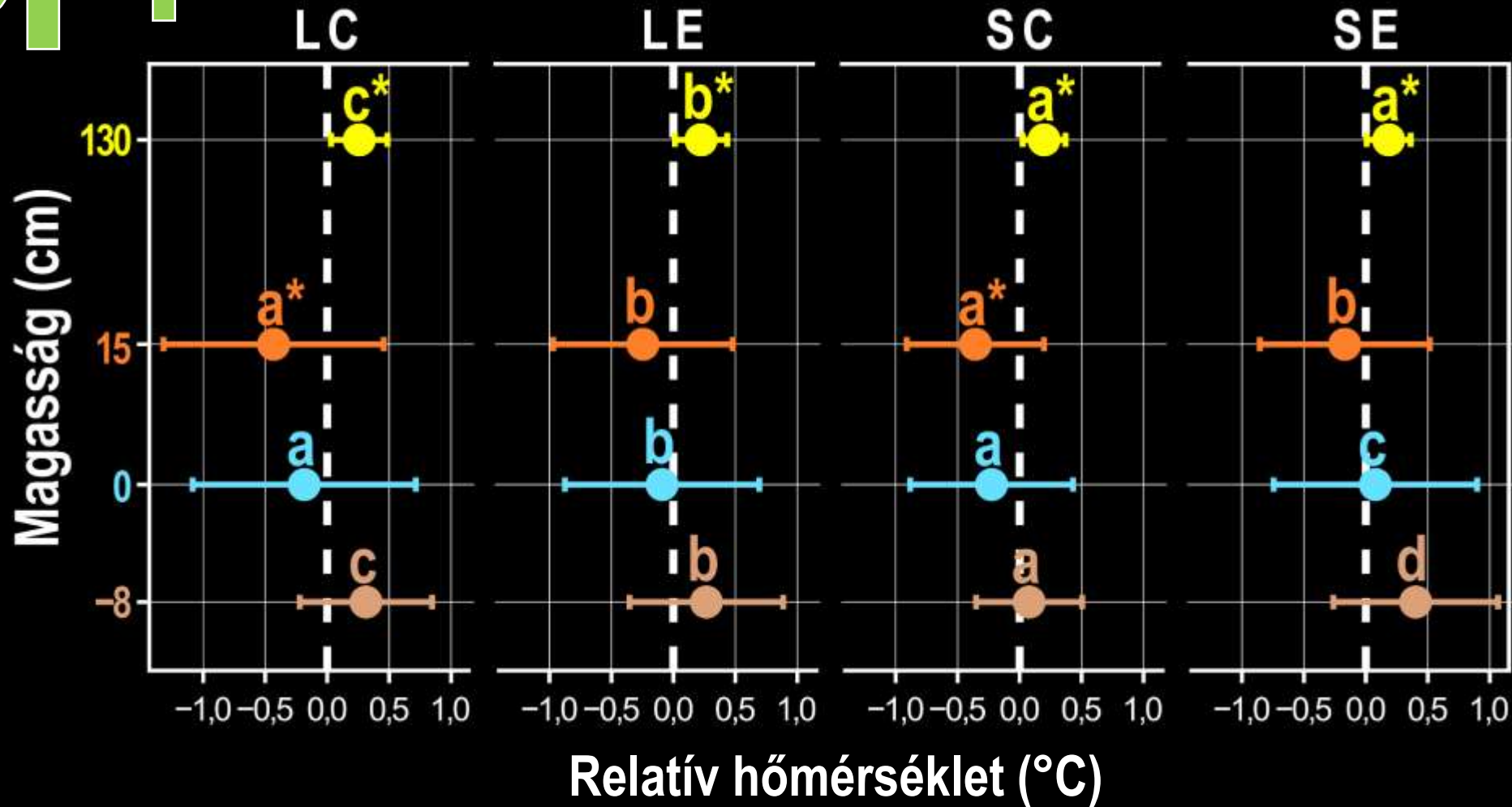
hasonló mintázat, de a szélsőértékeknél nagyobb hatásnagyságok és nagyobb range-ek

GLM – fix hatás: kezelés; random: blokk

Δ : kontrolltól (0) vett eltérések \rightarrow * $p < 0,05$

abc Tukey-féle post-hoc ($\alpha = 0,05$)

A lécek középpontjában mért változások 3.



lékméret
~direkt fény

lékalak
negatív ES
~fény*talajnedvesség

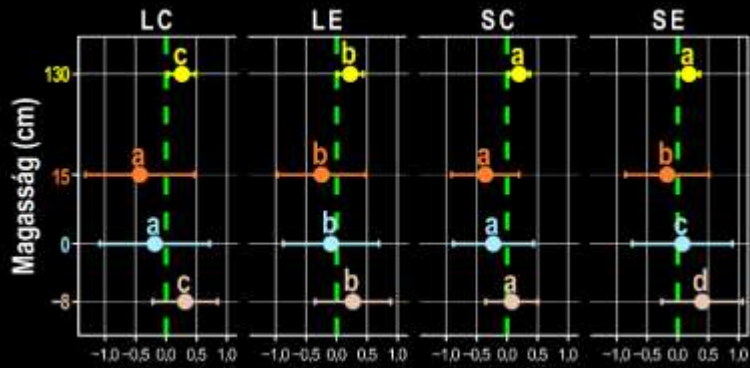
lékméret
de ~talajnedvesség is

GLM – fix hatás: kezelés; random: blokk

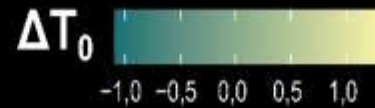
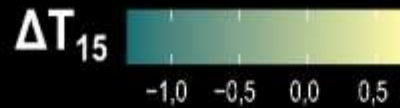
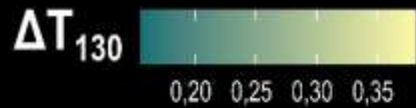
Δ : kontrolltól (0) vett eltérések \rightarrow * $p < 0,05$

abc Tukey-féle post-hoc ($\alpha = 0,05$)

A hőmérsékletre ható tényezők



a beeső fény és a talajnedvesség hatása
a hőmérsékletre magasságfüggő

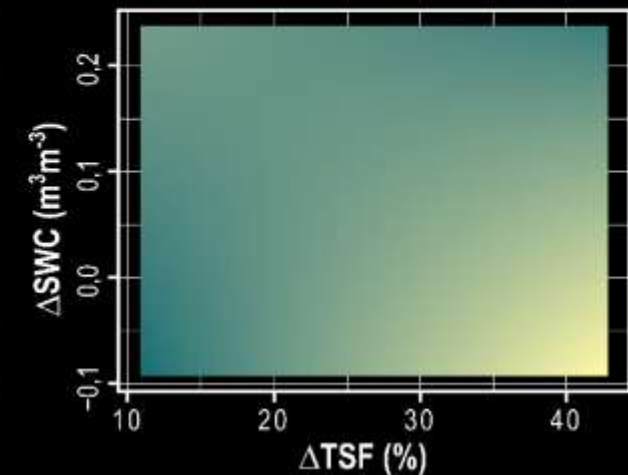
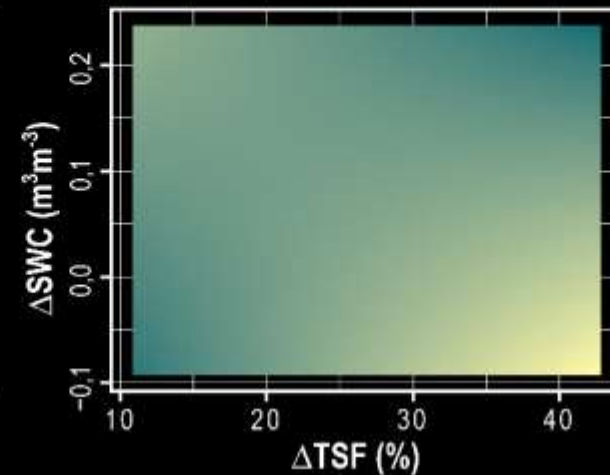
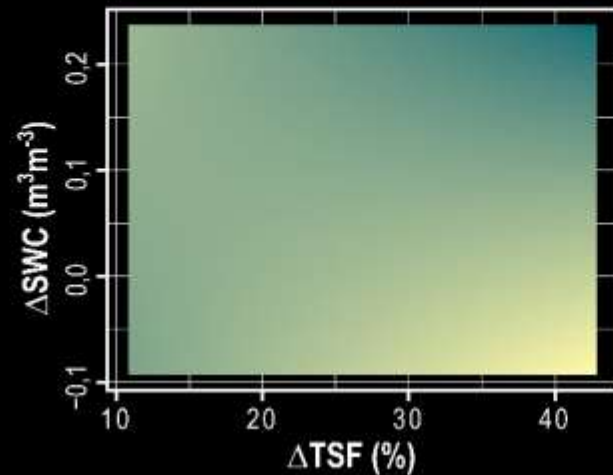
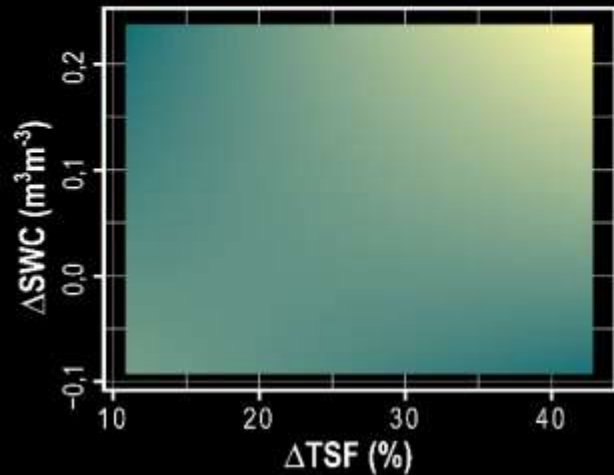


$\Delta T_{SF}^{n.s.}, \Delta SWC^{n.s.}, \Delta T_{SF}:\Delta SWC^{n.s.}$

$\Delta T_{SF}^{n.s.}, \Delta SWC^{n.s.}, \Delta T_{SF}:\Delta SWC^*$

$\Delta T_{SF}^{**}, \Delta SWC^*, \Delta T_{SF}:\Delta SWC^*$

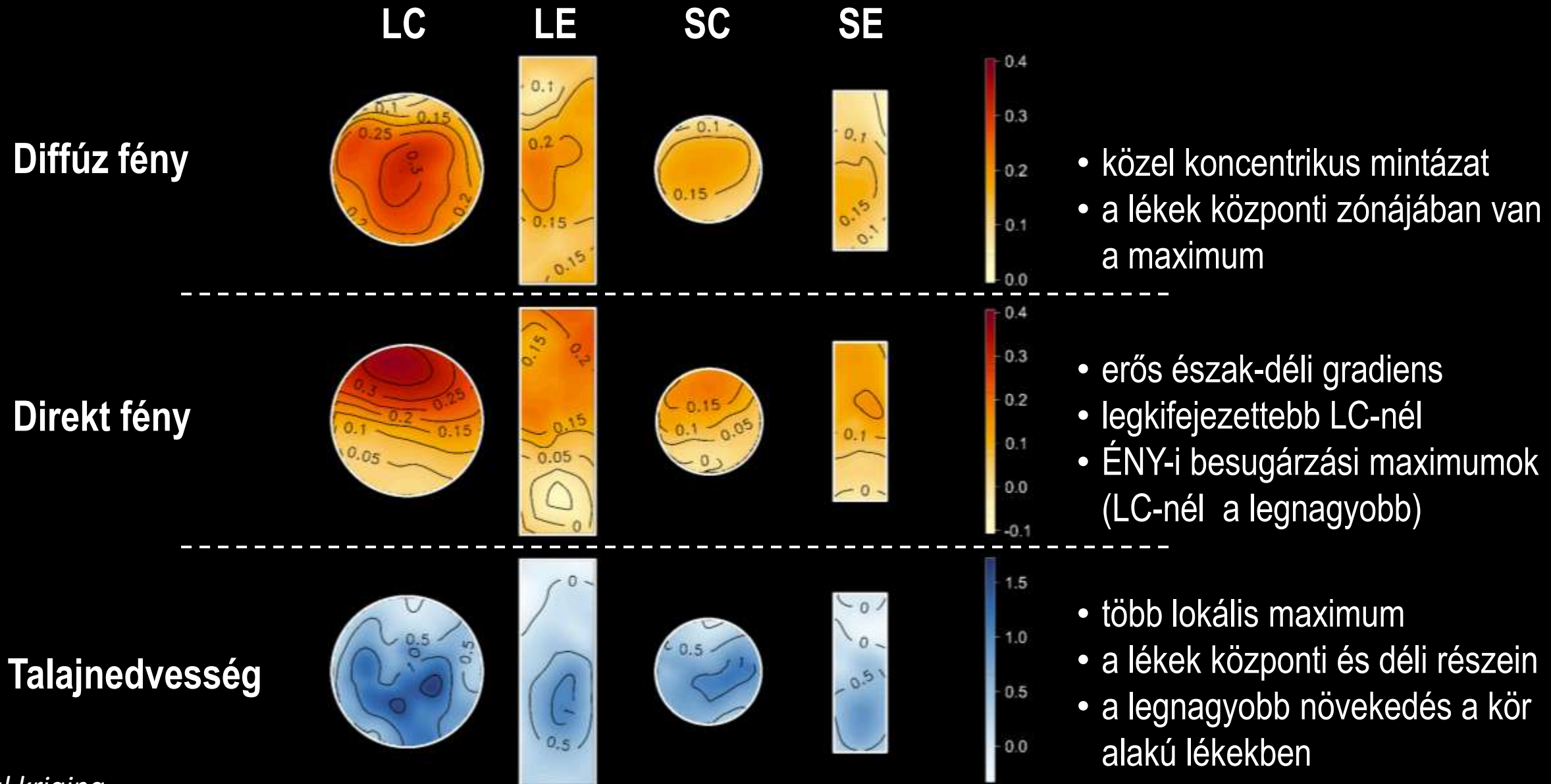
$\Delta T_{SF}^{***}, \Delta SWC^*, \Delta T_{SF}:\Delta SWC^{**}$



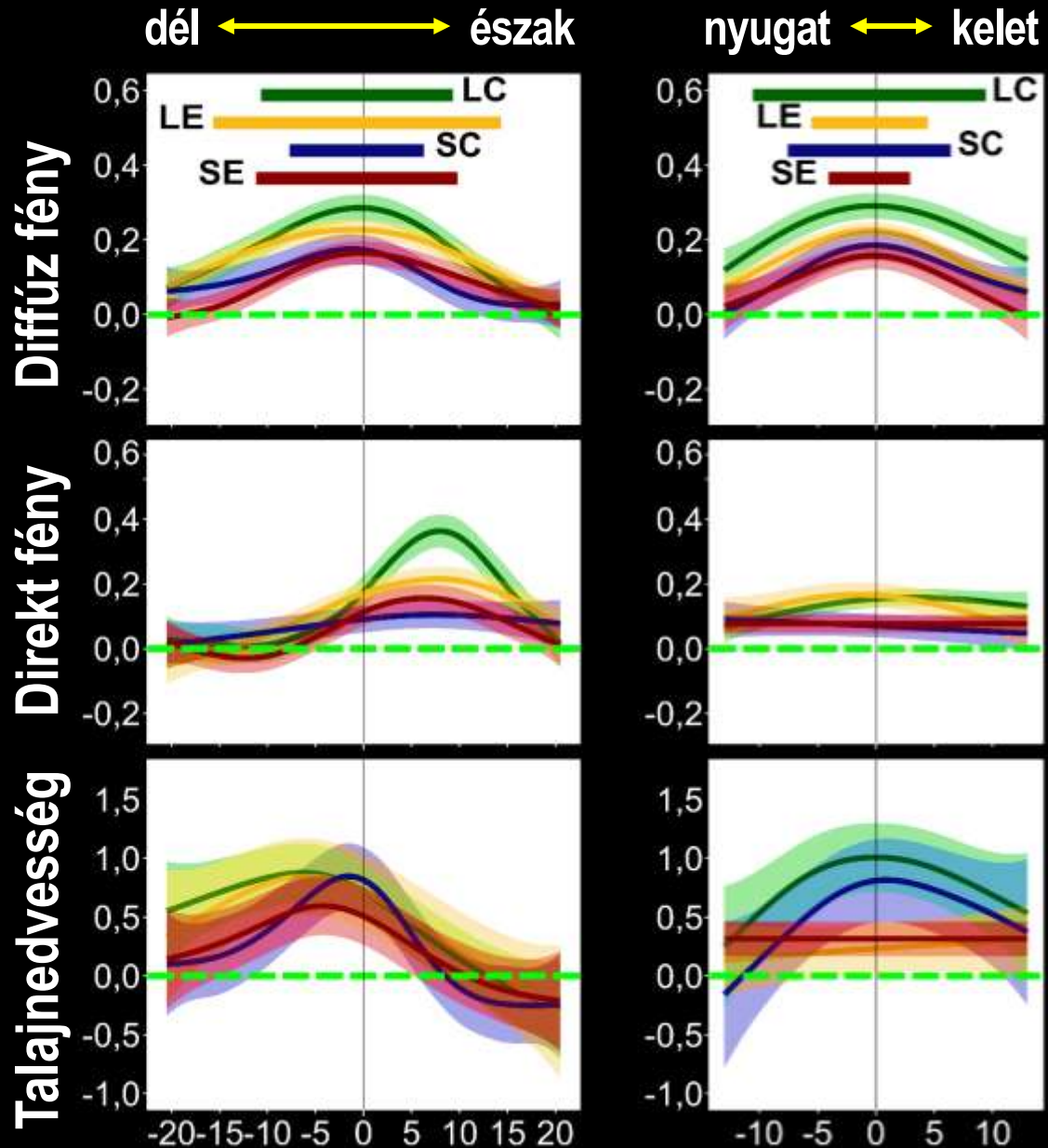
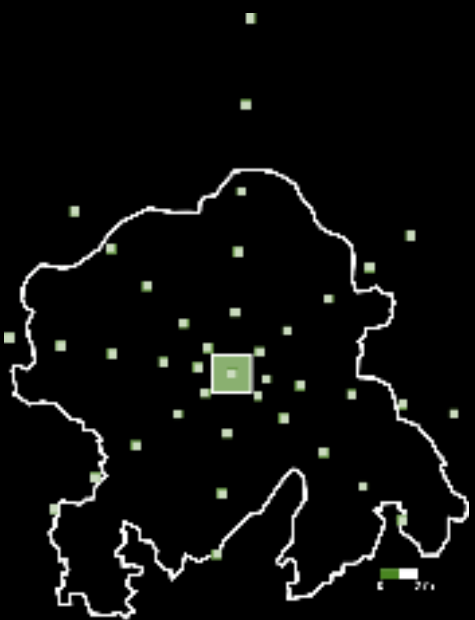
LM – relatív hőmérséklet ~ talajnedvesség + teljes fény + talajnedvesség:teljes fény

*** $p < 0,001$ ** $p < 0,01$ * $p < 0,05$

Mikroklíma-változók léken belüli mintázata 1.



Mikroklíma-változók léken belüli mintázata 2.



- közel koncentrikus mintázat
- a lékek központi zónájában van a maximum
- erős észak-déli gradiens
- legkifejezettebb LC-nél
- SC-nél alig
- a lékek központi és déli részein
- északon kontrollnál is alacsonyabb értékek
- elnyújtott: K-Ny szinte állandó

*kontrolltól (0) vett eltérések
GAM*