



**SOPRONI
EGYETEM**

ERDŐMÉRNÖKI
KAR

ERDŐ- ÉS TERMÉSZETI ERŐFORRÁS-GAZDÁLKODÁSI INTÉZET

**A keleti bükk (*Fagus orientalis* Lipsky) termesztésbe vonásának
lehetősége és szükségessége**

*The Potential and Necessity of Cultivating Oriental beech (*Fagus orientalis*
Lipsky)*

TDK DOLGOZAT

Készítette: Biró Máté Bence

Konzulens: dr. Frank Norbert

Sopron

2024

1. Bevezetés

Napjaink egyik legnagyobb kihívását a klímaváltozás jelenti, amely nagy hatást gyakorol többek között a hazai erdőgazdálkodásra. Szükséges felkészülnünk a jövő okozta kihívásokra, hiszen a megváltozott termőhelyeken új megoldásokra és gyakorlatokra lehet szükségünk. Egy alternatív megoldást jelenthet a keleti bükk termesztésbe vonása Magyarországon. A téma jelentősége abban rejlik, hogy a nálunk őshonos előfordulású európai bükk számára optimális termőhelyek száma fokozatosan csökken, ami szükségessé teszi olyan közelrokon fajok vizsgálatát, mint a keleti bükk. Az, hogy feltárjuk az ezekben a fajokban rejlő lehetőségeket, nagyban hozzásegíthet minket ahhoz, hogy egy jó választ adhassunk a klímaváltozás okozta nehézségekre.

2. Célkitűzés

Dolgozatomban feltárom a keleti bükk alkalmazhatóságának lehetőségét hazánk területén, térképes ábrázoláson mutatom be azon területeket, melyek alkalmasak lehetnek a fafaj szaporítóanyagának beszerzéséhez a jövőbeli magyarországi klímaváltozási forgatókönyveket figyelembe véve. A Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt. Tóalmi csemetekertjében folytatott mérésekkel következtetéseket vontam le, melyek segíthetnek számunkra megérteni, hogy milyen különbségek adódnak a hazánkban is őshonos európai bükk és a keleti bükk között, illetve hogyan lehet hatékonyan termesztetni a keleti bükköt Magyarország területén csemetekerti körülmények között.

3. Irodalmi áttekintés

3.1. A téma jelentősége

A klímaváltozási trendekből kiderül, hogy a jelenlegi termőhelyek jelentősen átalakulnak a jövőben és az európai bükk számára alkalmas területek száma is jelentősen csökkenni fog hazánkban. Egyre kevésbé lesznek alkalmasak a fafaj számára a feltételek és a növekedésben is jelentős visszaesések mutatkoznak (Garamszegi & Kern 2014). Ezért is érdemes figyelmet fordítani a keleti bükkre, mely a klímaváltozás hatására bekerült a látókörbe. A keleti bükk és az európai bükk is domináns fafajnak minősül az elterjedési területén, de a keleti bükk jobban tolerálja a melegebb, szárazabb viszonyokat, mint a nálunk is honos európai bükk (Kandemir & Kaya 2009). Mivel a klímaváltozási trendek melegebb és szárazabb viszonyokat jeleznek, egyre nagyobb szélsőségekkel, ezért érdemes foglalkoznunk ezzel a fafajjal.

3.2. Klímaváltozási tendenciák a jövőben

3.2.1. IPCC AR6 jelentés

Az IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change 2023) 6-os számú beszámolója alapján a jövőben (*napjainktól 2081-2100-ig*) a kibocsátott szén-dioxid mennyiségétől függően három forgatókönyvet vázolt fel a hőmérséklet emelkedésére: egy optimista becslést, egy mérsékeltet és egy pesszimista forgatókönyvet. Az optimista becslés szerint az átlag hőmérséklet emelkedés 1,4°C, a mérsékelt 2,7°C, a pesszimista becslés szerint pedig 4,4°C lesz. Fontos kiemelni, hogy ezek az értékek átlagértékek, nem mindenhol lesz ugyanakkora a változás mértéke. Jól látható ebből, hogy komoly változások fognak bekövetkezni, ami jelentős kihatással lesz a fajokra, erdészeti értelemben például a fafajok elterjedésére.

3.2.2. RCP 4.5 és RCP 8.5 forgatókönyvek

Az Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézete által kifejlesztett SiteViewer 3.0 program, (ERTI n.a.) amely egy erdészeti döntéstámogató alkalmazás, a Climate EU adatbázisának RCP 4.5 és RCP 8.5 kibocsátási forgatókönyvével dolgozik, melyek az IPCC által megadott előrejelzések. Ezen forgatókönyvek sugárzási kényszer értékekkel dolgoznak,

az RCP 4.5 esetén ez az érték $4,5 \text{ W/m}^2$ az RCP 8.5-nél pedig $8,5 \text{ W/m}^2$. Ezen értékek a 2100-as évre vetítenek előre. A sugárzási kényszer értékek azt fejezik ki, hogy az ipari forradalom óta milyen mérleggel rendelkezünk a beérkező és a földünkről kibocsátott energia tekintetében. A pozitív előjelű mérlegek azt jelentik, hogy több energia érkezik, mint amennyi távozik. Munkám során az RCP 4.5 forgatókönyvéhez hasonlólt használtam, illetve egy közepesen pesszimista előrejelzést, egy másik forgatókönyv csomagot, az SSP forgatókönyveket.

3.2.3. Az SSP245 és az SSP370 forgatókönyvei

Az SSP (Shared Socioeconomic Pathways) forgatókönyveit egy nemzetközi kutatócsoport dolgozta ki, amely az IPCC jelentésen alapul, de a sugárzási kényszeren túl az emberiség gazdasági és társadalmi változásait is figyelembe veszi. (O'Neill et al. 2014). Ezen forgatókönyvek közül az SSP245 és az SSP370-es forgatókönyveket alkalmaztam, előbbinél a sugárzási kényszer $4,5 \text{ W/m}^2$, utóbbinál ez az érték már egy pesszimistább forgatókönyv, 7 W/m^2 . Az SSP245 esetében a világ nem követ drasztikusan eltérő gazdasági vagy környezetvédelmi politikákat, mérsékelt intézkedéseket tesz a klímaváltozás ellen. Az SSP370-es forgatókönyv egy szétagolt világot ír le, ahol az országok a saját érdekeiket nézik és a környezetvédelmi és klímavédelmi szempontok háttérbe szorulnak. A térképezésnél ezt a forgatókönyv csomagot alkalmaztam, mert jelenleg Magyarországon a keleti bükkkel még ilyen szinten nem foglalkoztak, azonban egy német tanulmányban, amit alapul vettem munkám során ezek a forgatókönyvek szerepelnek (Mellert & Šeho 2022).

3.3. A fajok elterjedésének modellezése

A fajok elterjedési területe sokat változott a földtörténeti korokban. A múltban való elterjedést többek között pollenanalízis eljárásokkal lehet vizsgálni (Erdtman 2013). A fajok jelenkori elterjedési területeit mérésekből és adatbázisokból tudjuk előállítani. Ahhoz, hogy a jövőbeni elterjedési területeket ábrázolni tudjuk, a jelenlegi ismereteink szerinti trendeket követő modellekre van szükségünk. Ahhoz, hogy elő lehessen állítani a jövő elterjedési területeit, előbb meg kell vizsgálnunk, hogy egy adott fajra milyen klímparaméterek jellemzőek a jelenlegi elterjedési területén. Ezeket az adatokat felhasználva nyílik lehetőségünk arra, hogy modellezzük a jövőbeni elterjedéseket, figyelembe véve a klímaváltozási trendeket. A modellező szoftverekhez sok helyen

alkalmazzák a WorldClim bioklimatikus változóit környezeti paraméterekként. (Fick & Hijmans 2017)

3.4. Térképezéses elemzések a keleti bükkal

A célom az volt, hogy létrehozzak egy olyan térképet, amelyen a keleti bükk jövőbeni potenciális elterjedési területét ábrázolom a jelenleg ismert klímaváltozási trendek alapján Magyarországra. Külföldi kutatók is foglalkoztak ezzel a kérdéskörrel, a legideillőbb cikk a keleti bükk potenciális alkalmazási lehetőségeit taglalta Dél-Németország területére (Mellert & Šeho 2022). Ebben a publikációban vizsgálták, hogyan változhat az európai bükk számára megfelelő termőhelyek aránya és hogy milyen lehetőségei lesznek a keleti bükk termesztésének.

3.5. A keleti bükk csírázóképesége

Ahhoz, hogy a keleti bükkal termesztés tekintetében lehessen foglalkozni, az első témakör, ami szóba jöhet, az a szaporítóanyag. Megkerülhetetlen ezzel foglalkozni, hiszen ezzel kezdődik minden. Egy Törökországban végzett kísérlet számos hasznos információval szolgál a megfelelő szaporítóanyag kiválasztásához (Ertekin et al. 2015). Ebben a kísérletben megállapították, hogy makkgyűjtésre legideálisabb a középkorú, fenotípusosan kimagasló és északi kitettségben levő törzsfák. Ugyancsak ebben a kísérletben írták le a földrajzi magasság szerepét, ami befolyásolta a csírázást. A két mintaterület közül (600m, 800m) a magasabb fekvésben levőnél a páratartalom magasabb volt, ami ugyancsak egy fontos befolyásoló tényező a keleti bükk magoncoknál. Ezt bizonyítja egy másik kísérlet (Yilmaz & Dirik 2008), amiben a keleti bükk átfekvő jellegét kutatták. Kimutatták, hogy az ideális páratartalom a 28-32% közötti érték, ez nagyon hasonló az európai bükknél leírt adatokkal. Megállapították, hogy az átfekvés megelőzésében fontos szerepe van a sztratifikációnak, melynek időtartama 11 hét, egy másik irodalom szerint 9-14 hét, a szükséges hőmérséklet 3°C (Kandemir & Kaya 2009).

4. Anyagok és módszerek

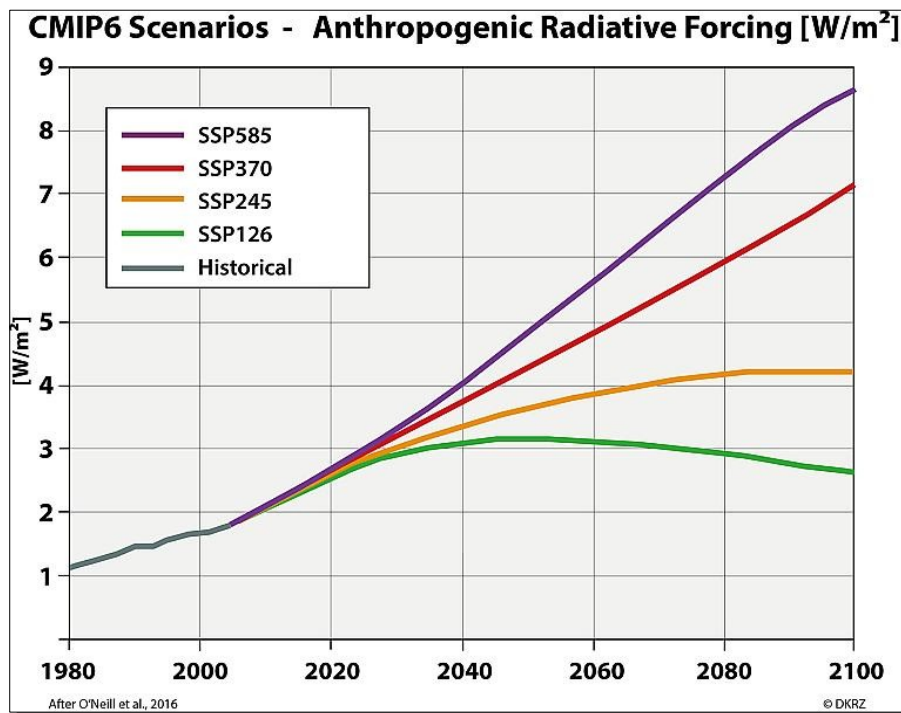
4.1. A térképezés folyamata

A térkép készítés első lépés az volt, hogy a keleti bükkre vonatkozó elterjedést ábrázoló fedvényt kellett szerezni, vektorgrafikus formátumban. Ezt az EUFORGEN (2024) oldalán sikerült megtalálnom, ahol sok más fafajra is megtalálhatóak elterjedési térképek. A későbbiekben is taglalt műveleteket a QGIS 3.34 ingyenes szoftverrel végeztem (QGIS, 2024). A keleti bükkre vonatkozó historikus adatokat a WorldClim oldaláról töltöttem le (Fick & Hijmans 2017), ahol az 1970-2000-es időszakra vonatkozó adatokat lehet találni. Különböző felbontások érhetőek el, a legnagyobb a 30 másodperces, a legkisebb a 10 perces felbontás. A felbontások földrajzi területeket jelentenek, melyek Magyarország esetében a 30 másodperces felbontásban közelítőleg 500x500m-es területet fed le, a 10 perces felbontás esetén ez a szám 16x16km. Munkám során az 5 perces felbontást alkalmaztam (*közelítőleg 8km x 8km*). Ahhoz, hogy a keleti bükk elterjedési területének éghajlati viszonyait ki lehessen fejezni, olyan klímaparaméterekre van szükség, ami a múltban rögzített időszak értékeit veszi alapul. A történelmi időszakra vonatkozó (1970-2000) paraméterek közül elérhető a minimum-, maximum-, és átlaghőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$), a csapadék (mm), a napsugárzás ($\text{kJ m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$), a szélsébség (m s^{-1}), és a vízgőznyomás (kPa). Számomra a hőmérsékleti és a csapadék értékek voltak fontosak a későbbiekben leírt két származtatott paraméterhez. Ezek mellett ugyanitt elérhetőek az adott időszakra vonatkozó bioklimatikus paraméterek, melyek közül 6 darab került kiválasztásra, melyekről a későbbiekben lesz szó.

A jövőbeli elterjedés modellezésére bioklimatikus paramétereket alkalmaztam, ezeket a 2081-2100 időintervallumra vonatkoztatva. Ezek a paraméterek is a WorldClim oldalán találhatóak meg, a jövőbeli előrejelzések modelljeinél. Ezek közül a paraméterek közül 6 bioklimatikus változót alkalmaztam és 2 származtatott változót számoltam ki. Ezek a változók a Bio1 (éves átlaghőmérséklet), a Bio12 (éves csapadékmennyiség), a Bio5 (legmelegebb hónap maximális hőmérséklete), Bio6 (leghidegebb hónap minimális hőmérséklete), Bio10 (legmelegebb negyed átlaghőmérséklete) és Bio18 (legmelegebb hónap csapadéka). A származtatott változók a Conrad-féle kontinentalitási index (Conrad 1946) és az Ellenberg-hányados (Ellenberg 1998) voltak. A Magyarországon is gyakran alkalmazott erdészeti szárazsági index (FAI) alkalmazása (Führer et al. 2011) aktuálisabb, azonban a Conrad-féle kontinentalitási index világszinten elterjedtebb és az általam alapul

vett tanulmány is ezzel dolgozik (Mellert & Šeho 2022). Ahhoz, hogy össze lehessen vetni az eredményeket, a Conrad indexet használtam számításaim során. A bükk esetében különösen fontosak ezen utóbbi származtatott paraméterek, hogy ki lehessen fejezni a szélsőségeket is az átlagértékeken felül, mint például a nyári aszályt.

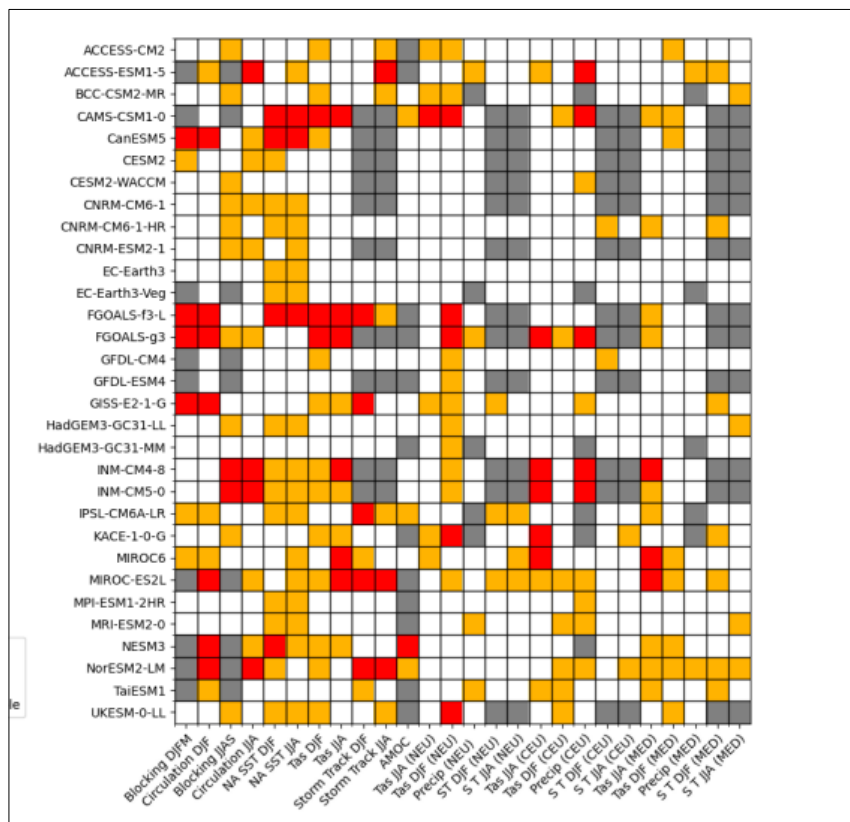
Miután ezek a változók lementsésre kerültek a QGIS programban a keleti bükk elterjedési területének fedvényével, a következő lépés az volt, hogy letöltssem ugyancsak a WorldClim oldaláról a jövőre vonatkozó modelleken belül a bioklimatikus paramétereket. A kiválasztott időintervallum a 2081-2100-as időszak volt, az SSP245 és az SSP370 forgatókönyvek szerint (IPCC 2023). Mindkét forgatókönyvhöz letöltöttem a szükséges fedvényeket. A különböző forgatókönyveket mutatja az 1. ábra.



1. ábra: A különböző felmelegedési forgatókönyvek (DKRZ 2014).

A jövőre vonatkozó előrejelzésekhez több modell is rendelkezésre állt, ezen modellek közül viszont nem mindegyik alkalmas a Közép-Európai viszonyok modellezésére, ami Magyarország esetében nagyon fontos kritérium. A megfelelő modell kiválasztására az alábbi tanulmány volt segítségemre (Palmer et al. 2023). A 2. ábrán bal oldalon láthatóak a különböző modellek, alul pedig a különböző feltételek, például Precip (CEU): csapadék Közép-Európában; Tas JJA (CEU): átlaghőmérséklet Közép-Európában június, július,

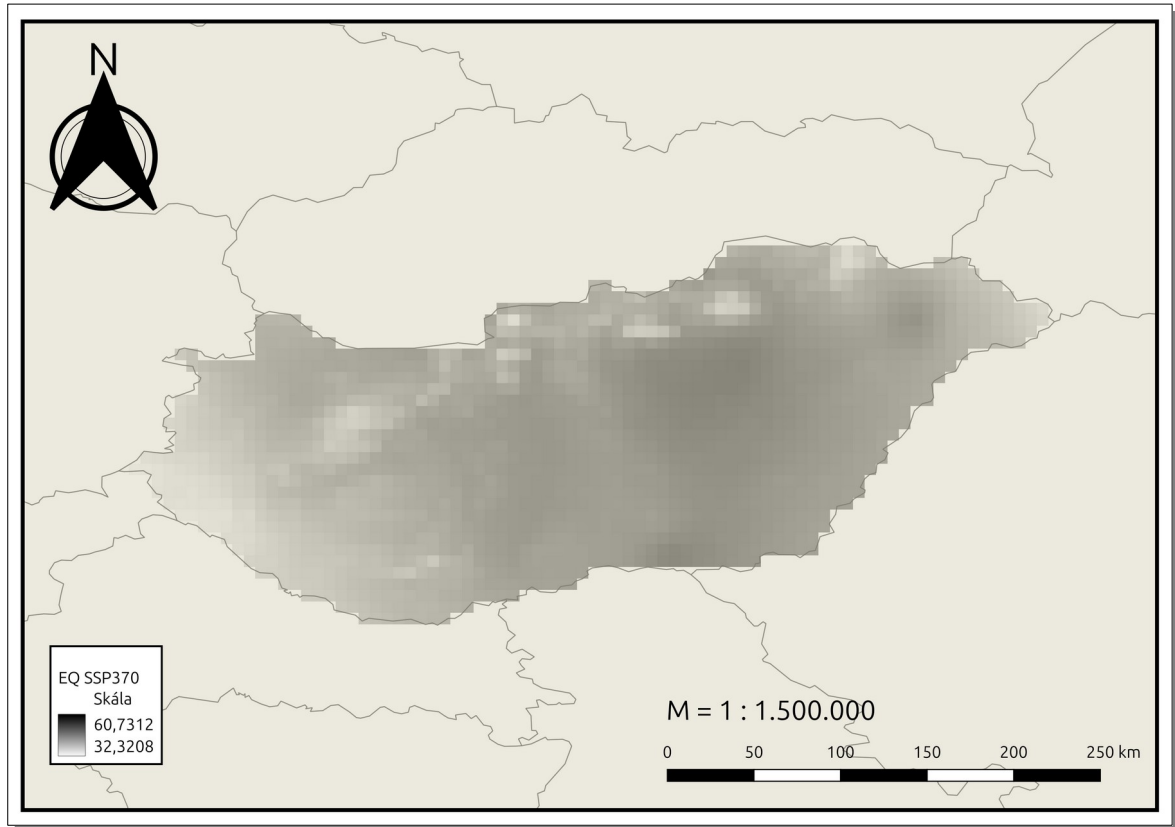
augusztusban. Ahhoz, hogy Magyarországot vizsgálni tudjuk, a Közép-Európai területet, hőmérsékleti feltételeket és csapadékot kellett figyelembe venni és ez alapján kiválasztani a megfelelő modelleket. A fehér négyzetek megfelelőek, a sárga szín szerintiek fenntartásokkal kezelendők, a piros négyzetek pedig nem alkalmazhatóak. A szürke esetében nem áll rendelkezésre adat.



2. ábra: Alkalmazható modellek a különböző területekre (Palmer et al. 2023).

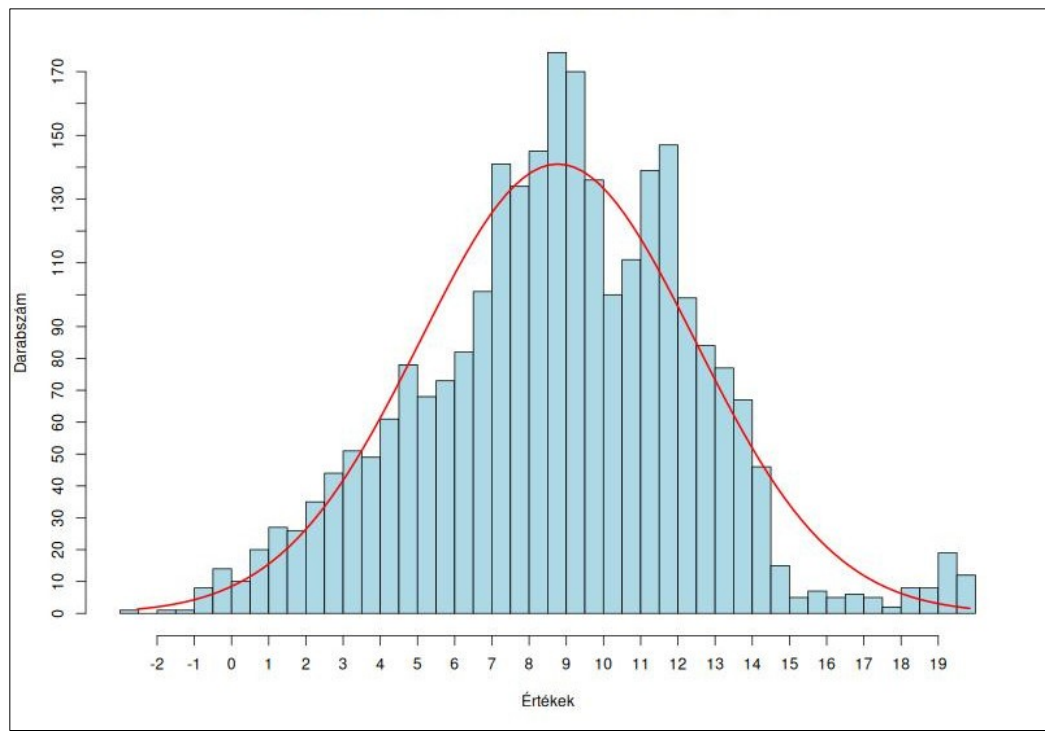
Alkalmazhatóság tekintetében az alábbi modellek bizonyultak használhatónak: ACCESS-CM2, BCC-CSM2-MR, EC-Earth3-Veg, GFDL-ESM4, GISS-E2-1-G, HadGEM3-GC31-LL, INM-CM5-0, IPSL-CM6A-LR, MIROC6, MPI-ESM1-2-HR, MRI-ESM2-0, UKESM1-0-LL. A megfelelő modellek kiválasztása után lementsztem Magyarország területének vektoros fedvényével ezen modellek fedvényeit, majd ezeket átlagolva kaptam meg a Magyarországra vonatkozó jövőbeli (2081-2100) paramétereket. A két származtatott paramétert is hasonlóan készítettem, itt már nemcsak a bioklimatikus paramétereket, hanem a WorldClim oldaláról elérhető hőmérsékleti adatokat, csapadékösszeg paramétert is

használtam és szélességi koordinátákat is fel kellett használnom, erre látható egy példa a 3. ábrán.



3. ábra: Ellenberg hányadossal kiszámított, SSP370 forgatókönyv szerinti paraméter
Magyarországra kimetszett fedvénye, 5 perces felbontásban.

A következő lépésben lemetszettem a keleti bükk elterjedési területével a már korábban leírt történelmi adatokból származó bioklimatikus paramétereket. A bioklimatikus paramétereket és a két származtatott paraméter értékeit elmentettem csv fájlformátumba, majd az adatokat betöltöttem az R szoftverbe (R Core Team 2023). A megfelelő parancssor előállításával létrehoztam eloszlási diagramokat, melyekre ráillesztettem a normál eloszlás görbéjét, melyre egy példát mutat a 4. ábra.



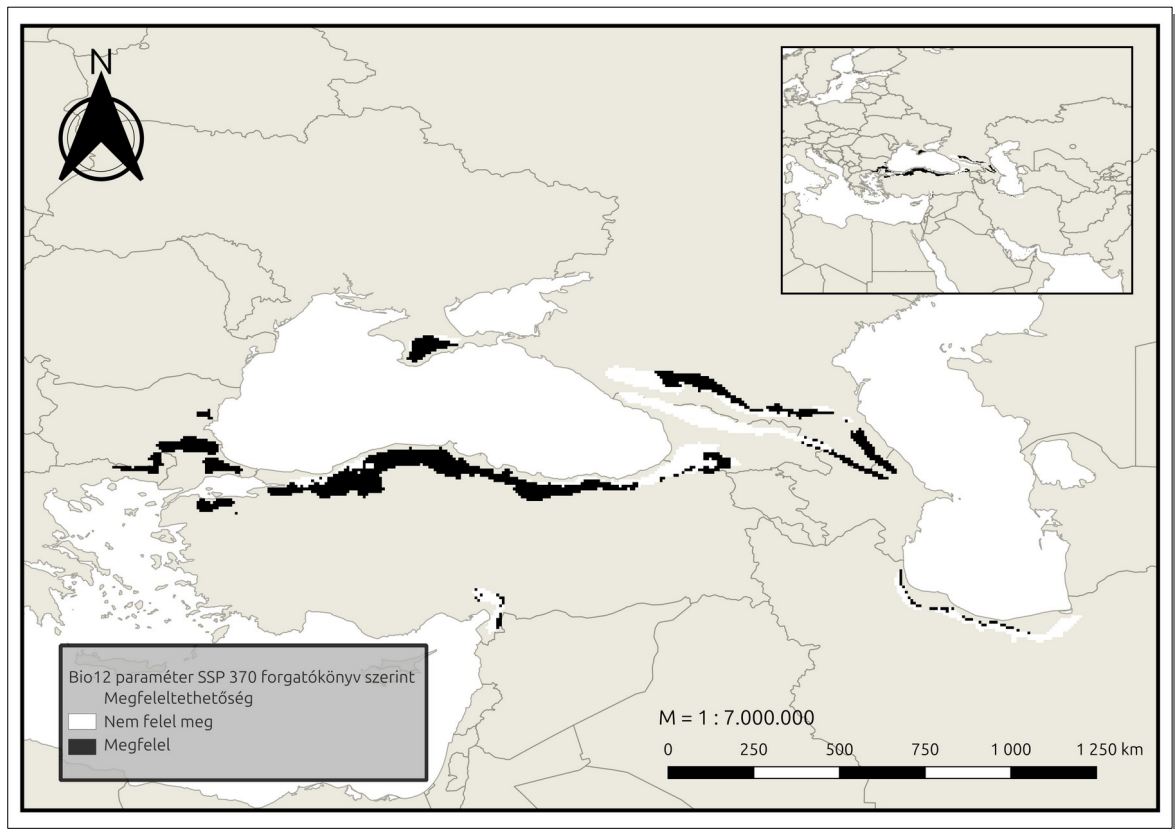
4. ábra: A Bio1 paraméter hisztogramja normál eloszlás görbével.

Az előállított hisztogramok segítségével sikerült kielemeznem az adatsorokon az eloszlásokat, láthatóvá váltak, hogy hol igényelnek transzformációkat és átalakításokat. A normál eloszlást nem lehetett előállítani az adatsorok esetében, nem mentek át a Wilk-Shapiro teszten, ezért például a t-próbás összehasonlítás nem valósulhatott meg. Ahhoz, hogy a térképet elő lehessen állítani, szükséges volt összehasonlítani az adatsorokat, ezért box-plotok segítségével elemeztem az értékeket. Azt tapasztaltam, hogy a keleti bükk az elterjedési területén belül a historikus adatokból származtatott klímaparaméterek alapján csekély átfedést mutat a jövőbeli előrejelzések származtatott klímaparamétereivel Magyarország területén. Minden klímaparaméter esetén tartalmazta a keleti bükk adatsorának intervalluma a magyarországi jövőbeli adatsorokat, de a szélső tartományokban voltak kizárólag ezek az átfedések. Mivel nem lehetett meghatározni a keleti bükkre az optimum tartományt, ezért csak azt tudtam vizsgálni, hogy a keleti bükkre vonatkozó klímaparamétereket összegezve hol lesznek olyan területek Magyarországon, ahol minden klímaparaméter szerint megfelelő lesz a tartomány. Ennek az lett az eredménye, hogy végül majdnem a teljes magyarországi területre alkalmazható a fafaj, azonban ez azért egy nem

teljesen pontos következtetés, mert nem áll mögötte statisztikai alátámasztás, szükségszerű további vizsgálatokat végezni.

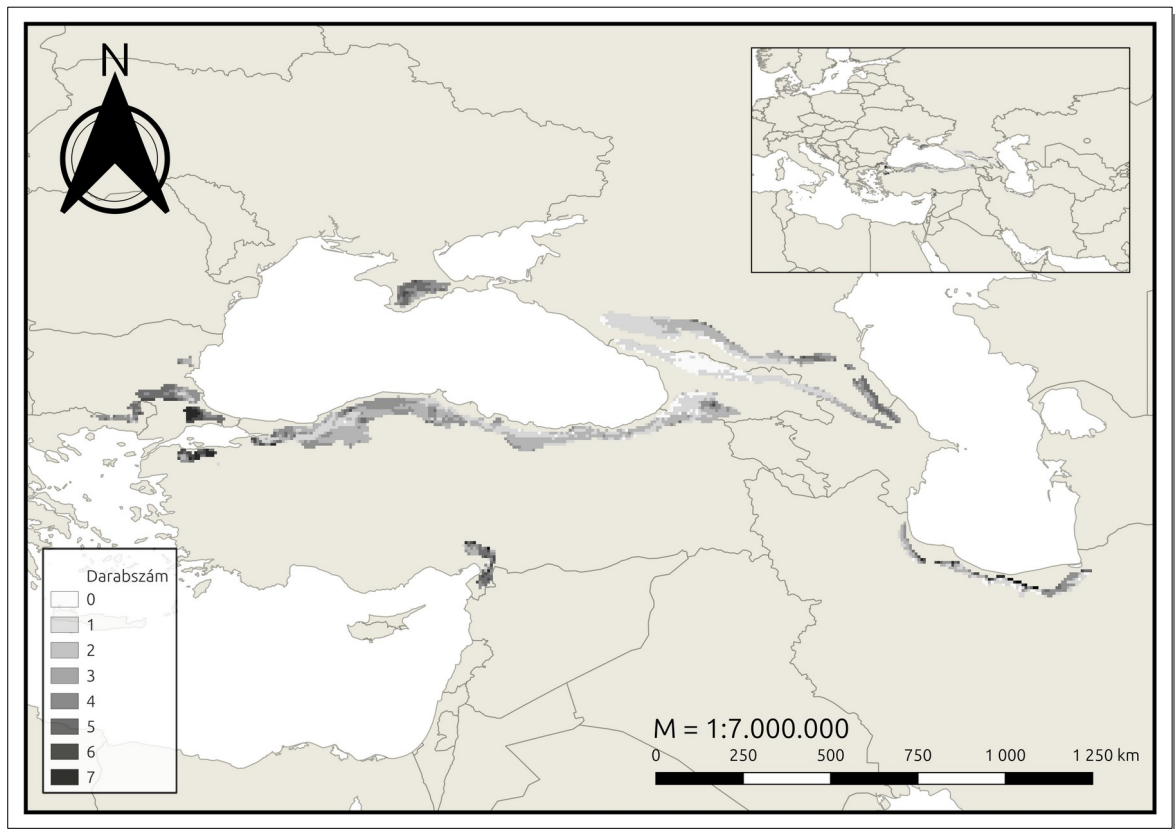
A korábbi eredmények egy másik utat vázoltak fel. Megfordítottam a kérdést és abból indultam ki, hogy azon magyarországi tájegységek esetén, ahol előfordul az európai bükk és ahol valószínűleg a keleti bükk is a jövőben alkalmasabb lehet (*Északi-középhegység, Dunántúli-középhegység, Alpokalja*) kutatom azon származási területeket a keleti bükk elterjedési területén belül, ahol a historikus klímaadatok alapján megfelelnek a paraméterek a jövőbeli magyarországi előrejelzésekhez. Ezzel azt kívántam elérni, hogy megkeressem, hogy honnan érdemes a jövőben szaporítóanyagot beszerezni a keleti bükk tekintetében. Az Erdészeti Tudományos Intézet munkatársától, Dr. Illés Gábortól kapott fedvények alapján vizsgáltam hazánk azon területeit, amik magasabb fekvésűek és ahol nagyobb eséllyel lehet a jövőben a keleti bükkal foglalkozni.

Ezekkel a fedvényekkel lementettem a klímaparamétereket újra, majd azt vizsgáltam, hogy a különböző paraméterek esetében hol találok egyezést a keleti bükk eredeti elterjedési területén vizsgált paraméterekkel. Minden általam kiválasztott és származtatott paraméter esetén megcsináltam ezt, majd a térképen leválasztottam azon területeket, melyek alkalmasak az adott paraméter szerint (*feketével*) és amelyek nem alkalmasak (*fehérrel*), erre látható példa az 5. ábrán.



5. ábra: A Bio12 paraméter megfelelése a keleti bükk elterjedési területére az SSP370-es forgatókönyv szerint.

Kiértékelve az adatokat és a raszterkalkulációkat elvégezve megkaptuk az alábbi térképet, melyen jól látszik, hogy a keleti bükk elterjedési területén belül az adott felbontás celláiban mennyi modell volt alkalmas (lásd 6. ábra). A térképhez az SSP370-es forgatókönyv szerinti előrejelzés adatai lettek felhasználva. A térképen látszik, hogy nem volt olyan terület, ami a korábbiakban leírt nyolc paraméterre alkalmazható, de ahol már legalább 6 paraméter megfelelő volt, ott úgy értékeltük, hogy ezen területekről érdemes a keleti bükk szaporítóanyagot behozni.



6. ábra: Alkalmas modellek száma a keleti bükk elterjedési területén az SSP370-es forgatókönyv szerint.

4.2. A Tómalmi csemetekertben folytatott mérések

Méréseimet a Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt. Tómalmi csemetekertjében valósítottam meg. A csemetekert az északi szélesség 47°43'06.7", keleti hosszúság 16°37'05.1" fokánál található és a Soproni Dombság tájrészlethez tartozik.

4.2.1. Éghajlati viszonyok:

A csemetekertre erős hatást gyakorol a medence jelleg, gyakoriak az erős szelek, melyek folyamatosan szárítják a talajt. A Soproni-dombság éghajlata mérsékelt meleg és mérsékelt száraz. Az évi középhőmérséklet 10,3 °C, a nyári félévi átlag 17,2 °C, míg a téli félév átlagosan 3,7 °C. Az évi csapadékösszeg 624 mm, amely leginkább a nyári félévre koncentrálódik. A sugárzási energia mennyisége viszonylag alacsony, a Budyko-féle

ariditási index alapján mérsékelten száraz nedvességellátottsági viszonyok jellemzőek a térségre (Balázs et al. 2024). A csemetekert mikroklimájából adódóan érzékenyebb az aszály okozta károkra.

4.2.2. Hidrológiai viszonyok:

A talajvíz mélyebben található, mint a gyökérszóna, így a terület többletvízhatástól független, a csemetekerti nevelést öntözéssel valósítják meg.

4.2.3. Talajtani viszonyok:

A csemetekert talajvizsgálatát a Soproni Egyetem végezte. A talajra jellemző, hogy a felső 50cm-es barna termőréteget a mélyebb rétegekben „Pannonhomok” követi. A talajban kimondottan magas mésztartalom (20%) található. A forgatás és szántóföldi művelés következtében nem beszélhetünk egyértelműen genetikai talajtípusról.

Összegezve, a termőhely a cseres klímába tartozik, talaja karbonátmaradványos barna erdőtalaj. Többletvízhatástól független termőhely és a szél szárító hatása miatt, illetve a kavicsos homok szivárogtató hatása miatt kimondottan száraz.

4.2.4. Mérési módszertan

A keleti bükk makkokat sorosan vetették, ezért a mintapontok kijelölésekor 1 m-es szakaszokat vettem fel, hogy a későbbiekben is megismételhetők legyenek a mérések. A mintahelyek kijelölésénél figyelembe vettem, hogy a fólia hatása miatt a szélső sorok nagyobb sugárzásnak lettek kitéve, így minden sorból vettem mintát. A kellő mintaszám eléréséhez minden 10. métert mértem le, eltolásban a szomszédos sorokhoz képest. Mivel a talajállapottól (*fagy, nedvességtartalom*) folyamatosan változik a talaj lazultsága, szerkezete, ezért igyekeztem a mérőléccel úgy mérni, hogy azt a talajba ne nyomjam be, de egyben ne is „lebegjen” a levegőben. A magasságot milliméter pontossággal mértem, a gyökfőátmérő adatokat pedig digitális tolómérővel, mellyel így két tizedesjegy pontosság volt elérhető (lásd 7. ábra). Ezeket a körülményeket és a mérési pontosságot figyelembe véve végeztem a méréseket. Igyekeztem a hajlottabb csemetéket kiegyenesíteni a magasság méréséhez, illetve a gyökfőátmérő mérésénél ügyeltem arra, hogy a lehető legközelebb mérjek a gyökfőhöz, ami nem volt egyszerű feladat, tekintve, hogy a csemeték nagyon közel álltak egymáshoz. A keleti bükk csemeték 2024 őszi állapotát mutatja a 8. ábra.



7. ábra: A csemeték gyökfő átmérőjének mérése digitális tolómérővel.



8. ábra: A keleti bükk csemeték 2024 őszi állapota.

A keleti bükk mérését a legszélső sorban kezdtem, ahol már nem volt érezhető a sor elején jelentkező szegélyhatás. Minden 10. méternél mértem, így a 0-1. m, 10-11. m, 20-21. m, 30-31. m, 40-41. m szakaszok kerültek lemérésre. A következő sorra már úgy álltam át, hogy elcsúsztatva legyen a szélső sortól, de itt is tartottam azt, hogy minden 10. méterben mérek. Voltak olyan szakaszok, melyeket erősen károsított a lőtücsök (*Gryllotalpa gryllotalpa*), az ide eső mintapontokat eltoltam, hogy ne befolyásolják jelentősen a mérések végeredményét. Az adatokat az Excel program segítségével elemeztem (Microsoft 2023). Ezen adatokat ez után az R szoftverben dolgoztam fel.

4.3. Csemetekerti károsítók hatása

4.3.1. A lőtücsök károsításának hatása

A csemetekertben a legnagyobb problémát a lőtücsök jelentette, több helyen előfordult a károsítása, 1-2 méteres szakaszokat is károsított akár a sorokban, a gyökereket megsértve, a járataival átszóve tönkreteszi a csemete gyökérzetét, ezzel kiszárítva a növényt, ami később el is pusztul emiatt.

Védekezni ellene öntözéssel lehetséges leginkább, ez meg is valósult a vegetációs időszak zömében. Vegyszeresen is lehet védekezni, például az Arvalin nevű vegyszerrel, mely a járatokba jutva fejti ki hatását.

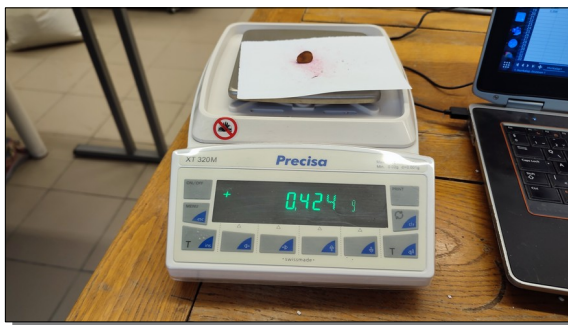
4.3.2. Az erős napsugárzás hatása

Az elmúlt időszak klímájára jellemzőek a száraz, meleg nyarak, melyek a csemetekerti termesztésnek sem kedveznek. A bükkcsemetéken is megfigyelhető volt kisebb mennyiségben a napégés hatása, de nem volt igazán számottevő.

A napsugárzás ellen hatékonyan védekezni Raschel hálóval lehetséges, amit szükséges fenntartani a nyári meleg hónapok végéig, sok esetben még az őszi időszak elején is, attól függően, hogyan alakul az időjárás.

4.4. Csíráztatási kísérlet

A csemetekerti mérésekkel párhuzamosan csíráztatási kísérletet is végeztem. A Balkán-hegység déli részéről, Bulgáriából származó, honosított és a Bakonyerdő Zrt.-től Sopronba szállított makkokból mintákat vettem, minden zsákból, illetve a zsák különböző pontjairól, hogy minél reprezentatívabb legyen a mintavételezés. A csíráztatási kísérletig hűvös, fagymentes helyen tároltam a csemetekertből származó makkokat, hasonló körülmények között, mint az ültetéshez felhasznált makkanyagot. Ezt követte a makkok tömegének megmérése digitális mérlegen (9.ábra).



9. ábra: A makkok tömegének lemérése.

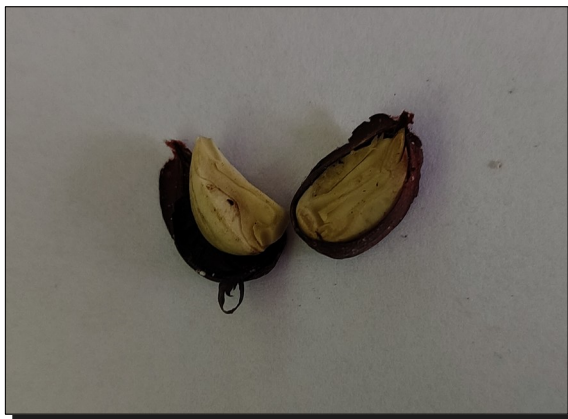


10. ábra: A makkok elhelyezkedése a Linhardt tálakban.

A mérések eredményeit bevitettem Excel táblázatba. A mérésekkel párhuzamosan Linhardt tálakban helyeztem a makkokat, benedvesített perlit ágyba. Minden makk egy sorszámot kapott, majd a Linhardt tálak sorszámozásával beazonosíthatóvá vált az egyes makkok

helyzete (10.ábra). A makkok mért ezermagtömegének átlaga 408,3 g volt. Az európai bükk makkja 150 és 400 gramm között változik, ebből látszik, hogy a vizsgált szaporítóanyag egy erős felső kategóriában van.

A tálakat folyamatosan párásan tartottam és fényes helyen kerültek elhelyezésre. Sajnos a kísérlet nem zárult sikeresen, mert a tálakban nem lehetett megfelelő páratartalmat tartani, a szakirodalmi adatoktól eltérő 30%-nál magasabb lehetett a páratartalom. A makkok gombaölő szerrel lettek kezelve, sajnos azonban a gombás fertőzést nem lehetett megelőzni. Később kiderült, hogy a makkok valószínűsíthetően nem voltak kellő ideig (*legalább 11 hét*) alacsony hőmérsékleten tárolva (3°C), ezért nem lehetett elkerülni a makkok átfekvő hajlamát. Ezt támasztják alá a később elvégzett makk metszetek, melyekben látszik, hogy az egészséges makkok között sok az olyan, ami bár nem csírázott ki, de életképes (11. ábra). Sajnos több is akadt, melyen gombás fertőzés jelei mutatkoztak, ez látható a 12. ábrán.



11. ábra: Egészséges makk.



12. ábra: Gombakárosított makk.

5. Eredmények és értékelésük

5.1. A térképezés eredményei

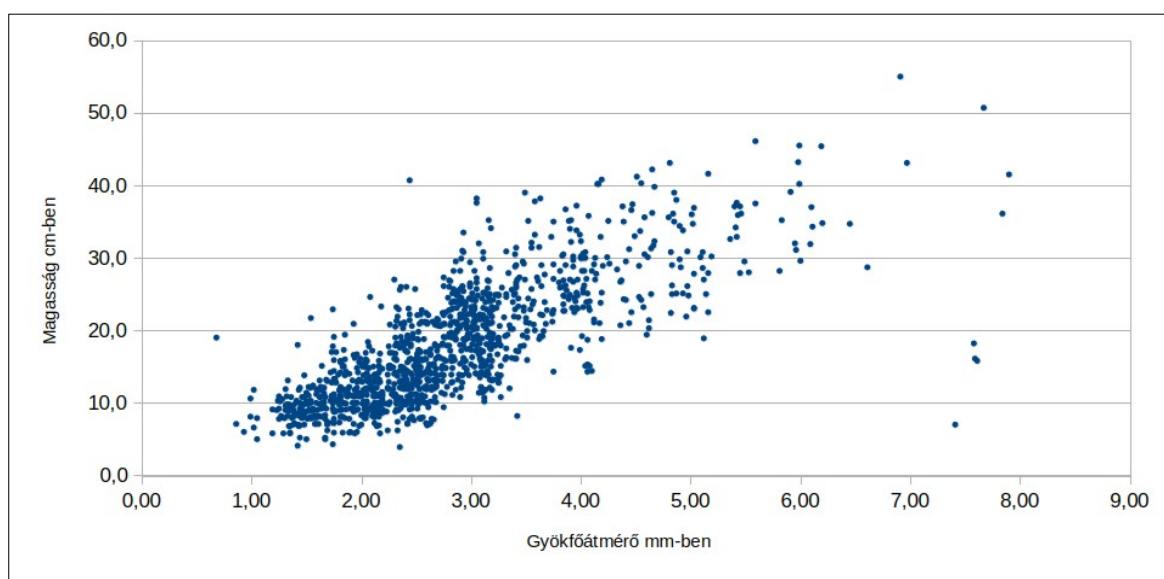
A keleti bükk térképes megjelenítésének eredménye jelenleg az, hogy a jövőbeli előrejelzések szerint a vizsgált paraméterek mindegyikének tartománya hazánk esetében belesik a keleti bükk jelenlegi elterjedési területén az ide tartozó paraméterek tartományába. Ahhoz, hogy vizsgálni lehessen azt, hogy a fafaj hol lesz Magyarországon valóban alkalmazható, további statisztikai kiértékelés és vizsgálat szükséges.

Eredményként levonható az is, hogy a vizsgált hat bioklimatikus paraméter és a két származtatott paraméter szerint jelenleg nem található a keleti bükk elterjedési területén belül olyan terület, amelyik minden paraméter szerint alkalmas lehet, azonban sok olyan terület van, ahol a paraméterek közül legalább hat megfelelt a feltételeknek, így érdemes ezeken a területeken további vizsgálatokat végezni és megnézni, hogy ezen helyeken találhatóak-e olyan állományok, amelyekből megvalósulhat a makkgyűjtés.

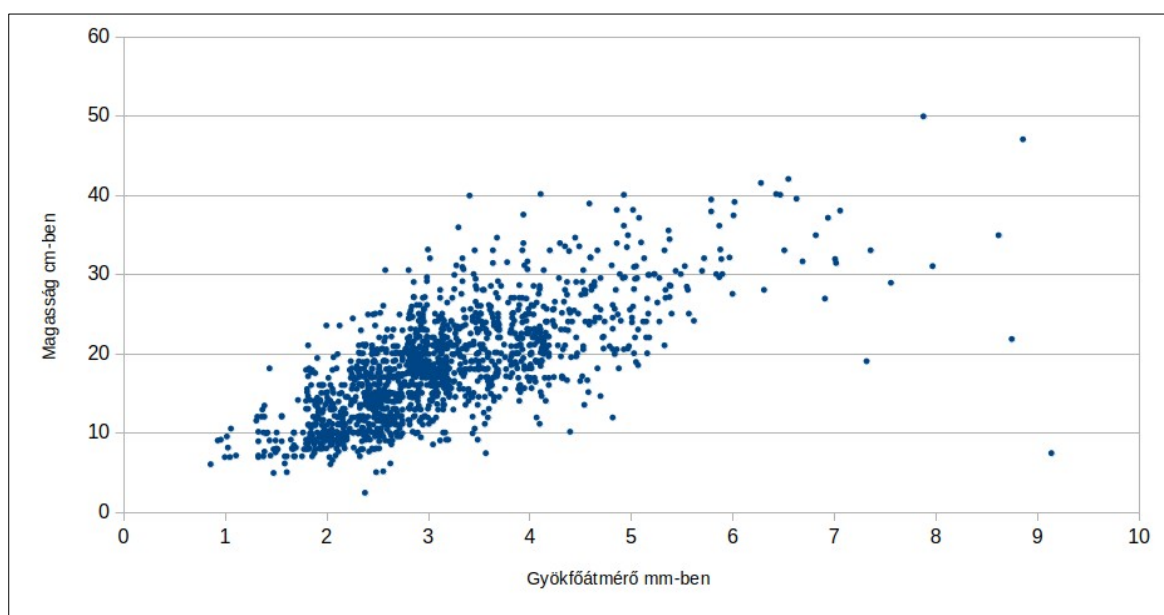
5.2. A csemetekerti mérések eredményei

5.2.1. A keleti bükk és az európai bükk összehasonlítása

A csemetekertben folytatott méréseket Excel táblázatba vittem, majd a kiértékelések után következtetéseket vontam le. Először összehasonlítottam a 2023 őszén mért adatokat. Ebben az esetben a keleti bükk és az európai bükk közötti különbségeket igyekeztem feltárni. Az egyszerűbb adatokat (*átmérő, szórás, magasság-átmérő grafikon*) Excelen csináltam, a többi statisztikai elemzést az R szoftverben. Összesen 2760 csemete került lemérésre, a keleti bükk esetében 1492, az európai bükknél pedig 1268. A két fafaj csemetéi között a legkiemelkedőbb különbség a magasság és átmérő adatokban jelentkezett. Az európai bükk és keleti bükk magasság és átmérő adatait mutatja a 13. és 14. ábra.



13. ábra: Az európai bükk magasságának és gyökfőátmérőjének kapcsolata.



14. ábra: A keleti bükk magasságának és gyökfőátmérőjének kapcsolata.

A keleti bükk mind magasságban, mind átmérőben felülmúlta az európai bükköt, de nem jelentősen. Az előbbi esetében a magasság és átmérő adatok 18,19 cm és 3,14 mm voltak. Az

utóbbira 17,78 cm és 2,83 mm voltak a mért értékek. A két fajra vonatkozó értékeket scatter plottal összefésültem (15.ábra).

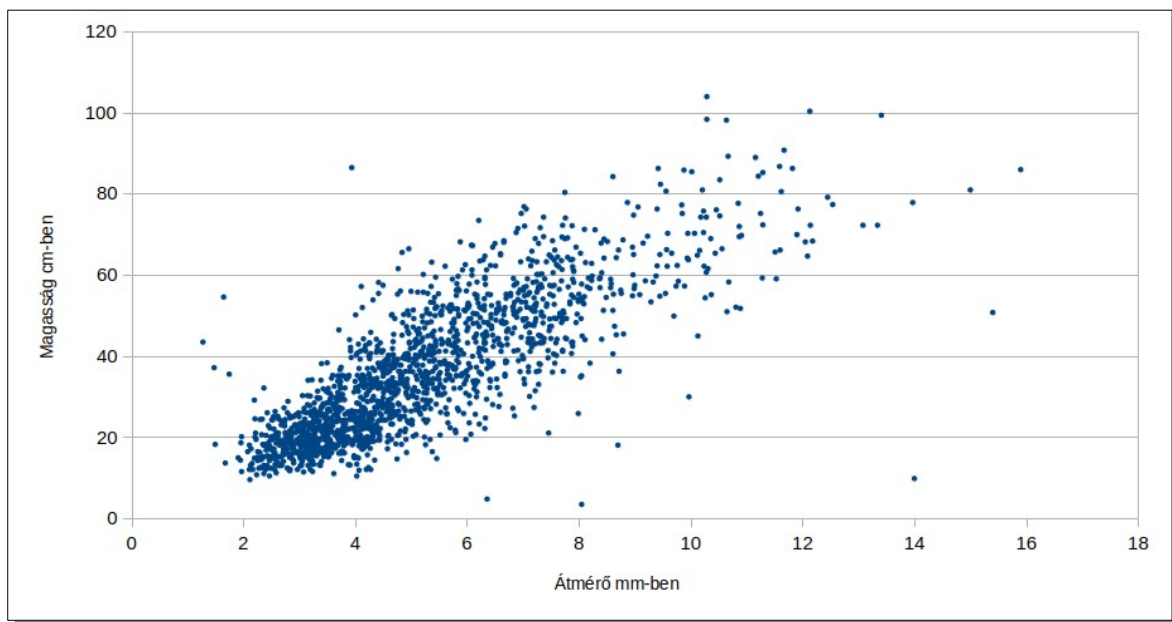


15. ábra: Az európai bükk és a keleti bükk magasság és gyökfőátmérő viszonyainak összehasonlítása.

A grafikonról is jól kitűnik, hogy a keleti bükk nagyobb szórásértékkel rendelkezik a magasság értékeknél, az átmérő adatoknál nem volt szignifikáns különbség. A konfidencia intervallumot 95%-os konfidenciaszintre végeztem el, mind a magasságban, mind az átmérő adatokban az európai bükknél volt nagyobb a bizonytalanság. A Pearson korrelációt is elvégeztem mindkét fajra, azt tapasztaltam, hogy erős a kapcsolat a magasság és az átmérő adatok között, a keleti bükknél 0,7183, az európai bükknél 0,7734 voltak a kapott értékek.

5.2.2. A kétéves keleti bükk csemeték vizsgálata

Az ez évi (2024 őszi) méréseket is kiértékeltem, itt már csak a területen levő keleti bükköt tudtam mérni, mert az európai bükköt kiemelték. A mért adatokat mutatja a 16.ábra.



16. ábra: A keleti bükk magasságának és gyökfőátmérőjének kapcsolata.

A kétéves magágyi bükk esetében kettészedtem az adatokat és két csoportot alakítottam ki aszerint, hogy 70 fölötti vagy alatti a csemeteszám a mért mintaterületeken. Azért a 70-es számot választottam, mert úgy oszlottak el az adatok, hogy ennél a számnál vagy jelentősen nagyobbak, vagy alacsonyabbak voltak az értékek. Arra voltam kíváncsi ebben az esetben, hogy van-e magassági, átmérőbeli, szórásbeli, növekedésbeli különbség. Először azt kell megvizsgálni, hogyan jöhetett létre az, hogy 70 alatti csemeteszám legyen egy folyóméteren. A vetésből eredően közelítően 130-150 makk jutott egy folyóméterre, így a vetési ok kizárható. A másik ok a lótetű károsításából származik, ami csökkentette az életképes csemeték számát, ezzel is kiritkítva a mintapontokon a csemetét, azonban ez nem volt mindenhová jellemző, ami a leginkább jelentkezett, hogy az alászorult csemeték elpusztultak. Ez növénytér bővülést eredményezett, ami látszik is a mért adatokból, a 70-es darabszám fölötti mintapontokban az átlagmagasság 35,11 cm volt, az átlag átmérő 5,08 mm, míg a 70 darab alatti területeken ezek az értékek 39,52 cm és 5,42 mm voltak. A szórás a 70 csemete alatti területeken magasabb volt, ami teljesen logikusnak tűnik a körülményekből adódóan. Érdekes, hogy a Pearson-korreláció a magasság-átmérő viszonyszámára nézve nagyobb egyezést mutatott, mint a tavalyi mérések, ezt azzal magyarázom, hogy a növekedés során az alászoruló, lemaradott csemeték elpusztultak, ezáltal nem terhelte a mintát annyira a visszászoruló csemeték aránya. A magasság és átmérő tekintetében a szórás az előző

évekhez képest megnőtt, ez azzal magyarázható, hogy voltak egyedek, melyek kimagasló méreteket értek el a második évre (közel 1 m), míg megmaradtak alászorultabb helyzetű példányok is.

5.2.3. A szélső helyzetű és belső sorok összehasonlítása

Az volt a feltételezésem a tavalyi évben a sorokat megfigyelve, hogy a fóliasátor széléhez közelebb eső sor a fólia közelsége miatt jobban ki volt téve az UV hatásának, ezért ez a tényező visszavetette a csemetéket a növekedésben. Másrészt viszont a szélső sorok több fényt kapnak, nagyobb a növéterük, ezáltal nagyobb és vastagabb csemeték növekednek. Az utóbbi feltevésemet igazolták az átlagadatok, melyekből kiderül, hogy a szélső sorban mind a magassági, mind az átmérő adatok nagyobbak voltak, mint a belső sorokra jellemző értékek. El akartam végezni t-próbát az adatokra, de az eloszlási hisztogramok azt mutatják, hogy az értékek nem normál eloszlásúak és nem is lehet őket a normál eloszláshoz közelíteni, emiatt Wilcoxon rank-sum tesztet végeztem az értékekre, melyekből az derült ki, hogy nincs az adatok között szignifikáns különbség, így a feltételezésem megdőlt, a termesztési körülmények ilyen szempontból nem befolyásolják jelentősen a csemeték növekedését.

5.2.4. A csíráztatási kísérlet eredményei

A csíráztatási kísérlet sajnos a vizsgált körülmények között nem járt sikerrel, érdemes megismételni jobban szabályozott viszonyok közt, ahol a páratartalom nem haladja meg a 28-30%-ot. Figyelembe kell venni ezek mellett, hogy szükséges a makknak a 11 hetes sztratifikáció 3°C-on, mely során az átfekvés hajlamot kizárjuk. Sajnos a 2024 tavaszán elültetett makkok esetében sem jártak sikerrel a csemetekertben sem, valószínűleg a makkanyaggal lehettek problémák, a tárolási körülményeket lehetne javítani, illetve figyelni kell, hogy a megfelelő minőségű makkot szerezzük be. Elképzelhető, hogy a makkok nem lettek megfelelő ideig (legalább 11 hét) a megfelelő hőmérsékleten (3°C) kezelve, mivel a hűtőházból korán el lettek hozva és viszonylag gyorsan el lettek vetve (2024 február), azonban a mostani időszakra jellemző enyhe telek miatt nem volt lehetőség elkerülni ezáltal az átfekvés hajlamot.

5.3. A keleti bükk alkalmazhatósága

Úgy gondolom, hogy mindenképpen érdemes a keleti bükkal foglalkozni, fontos ezen fafaj vizsgálata. Az eddigi eredmények arra mutatnak rá, hogy a fafajban rejlenek lehetőségek, a megfelelő területek kiválasztásával egy alternatív megoldást jelenthet a jövő bükköseinek, bükkelegyes társulásainak kialakításában hazánkban. Terveim között szerepel, hogy megvizsgáljam a fafaj természetvédelmi vonatkozásait, a benne rejlő lehetőségeket és kockázatokat. Emellett fontosnak tartom, hogy genetikai értelemben is foglalkozzunk a jövőben ezzel a kérdéskörrel, sok lehetőséget látok benne a faj genetikai diverzitása miatt, terveim között szerepel, hogy ezekkel a kérdésekkel is foglalkozzak, legalább az eddigi szakirodalmi ismereteink feltárása és elemzése révén. Hazánkban nincs kiforrt módja a keleti bükk alkalmazásának, jelenleg a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal külön engedélye szükséges a szaporítóanyag behozatalához, amit kísérleti jelleggel lehet felhasználni.

5.4. A keleti bükk potenciális jövőbeli elterjedésének térképezése

A fafaj jövőbeli elterjedési területére vonatkozó térkép elkészítése sokat segíthet számunkra, hogy megértsük, hol és milyen körülmények között lehet sikeresen termesztetni a keleti bükköt. A statisztikai kiértékelések után egy árnyaltabb képet kaphatunk arról, hogy hol lesznek Magyarországon azon területek, melyekre alkalmazni lehet a keleti bükköt. Terveim között szerepel, hogy a fafaj elterjedési területére elkészült fedvények alapján megvizsgáljam, mely területeken találhatóak meg a keleti bükknek olyan állományai, melyekből szaporítóanyagot lehet begyűjteni és ezáltal felhasználni a jövőben Magyarországon.

5.5. A keleti bükk termesztése csemetekertben

Ami a csemetekerti mérésekre jellemző volt, hogy nem volt igazán szignifikáns különbség az európai bükk és a keleti bükk növekedése között. Bár a keleti bükk jobb növekedést mutatott és meghaladta az európai bükköt, nem volt tapasztalható jelentős eltérés, legalábbis negatív irányban biztosan nem. Ebből következik, hogy a keleti bükkre vonatkozóan a csemetekerti termesztés sikeres volt, hatékonyan lehetett termesztetni a 2023-as vetést. A kelés nem volt teljesen homogén, megkülönböztethetőek voltak olyan mintaterületek, melyek jelentősen

kevesebb csemetét tartalmaztak, mint az átlag, itt kimutatható volt a magasság és átmérőbeli fölény. Ez okot adhat arra, hogy végiggondoljuk, milyen paraméterrel rendelkező csemetére van szükségük az erdősítésben és ehhez milyen darabszámot kell alkalmazunk a vetés során. A 2024-es vetés sikertelensége segíthet minket közelebb vinni ahhoz, hogy megértsük, pontosan milyen körülmények és technológiai feltételek szükségesek a fafaj termesztésére. Terveim között szerepel, hogy feltárjam a csemeték gyökérzetét és vizsgáljam a gyökér és szár közötti viszonyszámot.

6. Összefoglalás

Ahhoz, hogy a keleti bükk magyarországi termesztésének lehetőségét és a későbbiekben betöltött szerepét megállapíthassuk, további vizsgálatokra lesz szükségünk. A térképezés megmutatta, hogy a fafajban rejlenek lehetőségek, hiszen az előrejelzések azt mutatják, hogy a jövőbeli magyarországi viszonyok megjelennek a keleti bükk jelenlegi elterjedési területén, de ahhoz, hogy pontosabb ismeretekre tegyünk szert, szükséges a további statisztikai kiértékelés. Ugyancsak térképes ábrázoláson látható, hogy hol lesznek a jövőben azon területek, ahonnan érdemes lesz a keleti bükk szaporítóanyagát behozni. Mélyebb vizsgálattal megállapíthatóak lesznek azon területek, ahol jelenleg is állnak makkgyűjtésre alkalmas állományok. A csemetekerti termesztés eredményei megmutatták, hogy nálunk is sikeresen lehet termesztetni a keleti bükköt, ha betartjuk a magkezeléssel kapcsolatos előírásokat és a technológiai irányelveket. Úgy gondolom, hogy fontos vizsgálni a fafaj által felmerülő természetvédelmi és genetikai kérdésköröket is. A keleti bükk nagy hatással lehet a hazánkban is előforduló európai bükkre genetikai értelemben, mivel a két fafaj kereszteződik egymással. Összegezve kijelenthető, hogy a keleti bükkal foglalkozni érdemes, a további vizsgálatok kideríthetik, hogy milyen feltételekkel lehet ezen fafajt a jövőben termesztetni hazánkban.

Irodalomjegyzék

Könyvek, cikkek

- Balázs P.; Berki I.; Bidló A.; Bölöni J.; Horváth A.; Király G. & Vig P. 2019: Természetföldrajzi jellemzés. 113–126. In: Führer E. (főszerk.): Magyarország erdészeti tájai: IV. KISALFÖLD ERDÉSZETI TÁJCSOPORT. Nemzeti Agrárgazdasági Kamara, Budapest
- Conrad V. 1946: Usual formulas of continentality and their limits of validity. Eos, Transactions American Geophysical Union, 27(5): 663-664.
- Ellenberg H. H. 1988: Vegetation Ecology of Central Europe. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 731 pp.
- Erdtman G. 2013: An Introduction to Pollen Analysis. Read Books Ltd., 240 pp.
- Ertekin M.; Kirdar E. & Ayan S. 2015: The effects of exposure, elevation and tree age on seed characteristics of *Fagus orientalis* Lipsky. South-east European forestry: SEEFOR, 6(1): 15-23.
- Fick S. E. & Hijmans R. J. 2017: WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology, 37(12): 4302-4315.
- Führer E.; Horváth L.; Jagodics A.; Machon A. & Szabados I. 2011: Application of a new aridity index in Hungarian forestry practice. Időjárás, 115(3): 205–216.
- Garamszegi B. & Kern Z. 2014: Climate influence on radial growth of *Fagus sylvatica* growing near the edge of its distribution in Bükk Mts., Hungary. Dendrobiology, 72: 93–102.
- Kandemir G. & Kaya Z. 2009: Technical guidelines for genetic conservation and use of oriental beech (*Fagus orientalis*). European Forest Genetic Resources Programme (EUFORGEN), Bioversity International, Rome, Italy.
- Mellert K. H. & Šeho M. 2022: Suitability of *Fagus orientalis* Lipsky at marginal *Fagus sylvatica* L. forest sites in Southern Germany. Forest Ecology and Management, 481: 118-124.

Palmer T. E.; McSweeney C. F.; Booth B. B. B.; Priestley M. D. K.; Davini, P.; Brunner L.; Borchert L. & Menary M. B. 2023: Performance-based sub-selection of CMIP6 models for impact assessments in Europe. *Earth System Dynamics*, 14(2): 457–483.

O'Neill B. C.; Kriegler E.; Riahi K.; Ebi K. L.; Hallegatte S.; Carter T. R.; Mathur R. & van Vuuren D. P. 2014: A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 122(3): 387-400.

Yilmaz M. & Dirik H. 2008: Dormancy depth, prechilling, and storability of oriental beechnuts (*Fagus orientalis* Lipsky). *Seed Science Research*, 18(3): 121-128.

Programok

Microsoft 2023: Microsoft Excel [Számítástechnikai program]. Microsoft Corporation.

Megtalálható: <https://www.microsoft.com/excel> – hivatkozva: 2024. 10. 26.

QGIS 2024: QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.

Megtalálható: <https://qgis.org> – hivatkozva: 2024. 10. 26.

R Core Team 2023: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Megtalálható: <https://www.R-project.org> – hivatkozva: 2024. 10. 26.

Weboldalak

DKRZ (Deutsches Klimarechenzentrum). 2024: Die SSP-Szenarien. [honlap az interneten]

Megtalálható: <https://www.dkrz.de> – hivatkozva: 2024. 10. 26.

EUFORGEN 2024: European Forest Genetic Resources Programme. [honlap az interneten]

Megtalálható: <https://www.euforgen.org> – hivatkozva: 2024. 10. 26.

ERTI n.a.: Erdészeti Tudományos Intézet. ERTI GIS Site Viewer. [honlap az interneten]

Megtalálható: <http://www.ertigis.hu/siteviewer.htm> - hivatkozva: 2023. 10 26.

IPCC 2023: Climate Change 2023: Sixth Assessment Report.

Megtalálható: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/> - hivatkozva: 2024. 10. 26.

Köszönetnyilvánítás

Az EKÖP-24-2-I számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2024-2.1.1-EKÖP-2024-00007 pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Szeretném megköszönni konzulenseimnek, dr. Frank Norbert docens úrnak a folyamatos segítséget, iránymutatást, dr. Folcz Ádámnak a Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt. munkatársának a témafelvetést és a munka terepi részében való közreműködést, nélküle ez az egész létre sem jöhetett volna. Köszönöm dr. Illés Gábornak, az Erdészeti Tudományos Intézet munkatársának a fáradhatatlan segítséget a térképezésben és az iránymutatásban, amikor úgy éreztem, elvesztem. Egyúttal szeretnék köszönetet mondani Martos Ákosnak, aki a csemetekerti mérésekhez adta meg a lehetőséget. Köszönet barátomnak, Marosi Jánosnak, aki segített a csemetekerti mérések vizsontagságai között és természetesen családomnak, akik egész végig mögöttem álltak és támogattak.