

Kora középkori boksás faszénégetés rekonstrukciós kísérlete

Thiele Ádám – a Bucavasgyúró

1. Bevezetés

1.1. Történeti, régészeti háttér

A faszénégetés a Kárpát-medence Avar-, honfoglalás- és Árpád-kori vasiparához, a vaskoházathoz és a kovácsoláshoz szorosan kapcsolódó tevékenység volt, ez biztosította a tüzelőanyagot. Az eddig vizsgált korabeli faszéndarabok döntő többsége kocsányos- és kocsánytalan tölgyből származott (GÖMÖRI 2000, 267; TÖRÖK 2011, 16). A tölgy felhasználásának feltételezhető okai között szerepel az, hogy egyrészt laza szerkezete miatt nagy, kémiaailag aktív felülettel rendelkező és jó gázátbocsátó képességű faszén készült belőle (TÖRÖK 2010, 228), másrészt a tölgy és a bükk volt a legkönnyebben hozzáférhető fafajta. A mai Magyarország területéről ismert, a honfoglalás korára datálható kohótelepek régészeti feltárásai során néhány alkalommal (többek között: Nemeskér–Tüskésrét (GÖMÖRI 2000, 118, 122, 66. kép, 71–73. kép), Tömörd–Csepregi-erdő (GÖMÖRI 2000, 204, 147. kép), Iván–Dudás-dűlő (GÖMÖRI 2000, 85, 37. kép) sikerült megfigyelni a feltételezhető faszénégető boksák helyeit. Ezek 180–200 x 250–300 cm nagyságú, sekély, tányér alakú gödrök voltak. Figyelembe véve a boksákra jellemző félgömb alakot, 2-4 m³ térfogatúra (normál m³, nem erdei m³!) lehet ezeket becsülni.

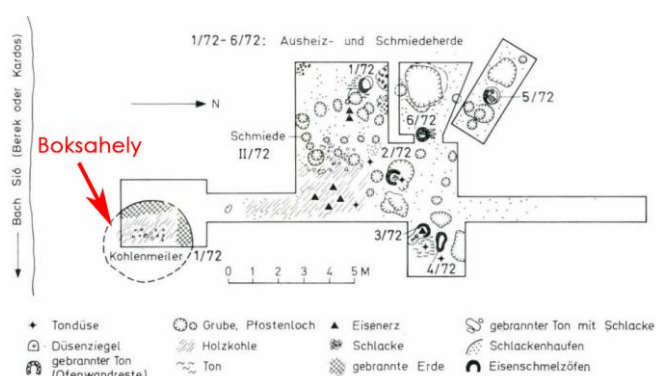


Abb. 18. Nemeskér-Rétrejáró alja Flur, Ausgrabung i. J. 1972

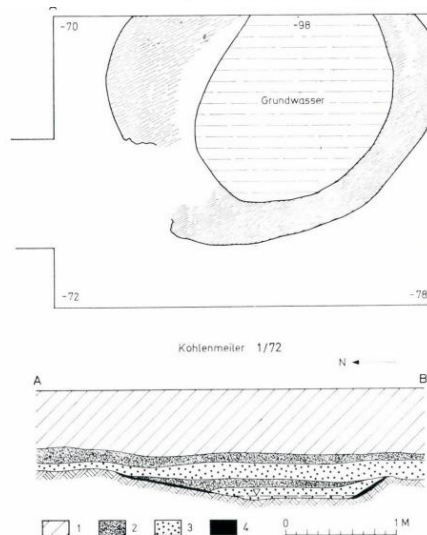


Abb. 19. Nemeskér 1972. 1. Grundriß und Durchschnitt eines Holzkohlenmeilers: 1: graue, stellenweise lehmige Humus-Schicht, 2: Eisenschlacke und rote Ton-Ofenbruchstücke, 3: schwarzer Holzkohlen-Boden, 4: rötlich-braun gebrannte Seite des Holzkohlenmeilers, darunter Lehm Boden

1. Ábra: Boksahely megjelölése régészeti feltárt vaskohászati műhely közelében Nemeskér-Rétrejáró lelőhelyen (GÖMÖRI 1980, 336-337, 18-19. kép)

1.2. Kísérleti előzmények

Az elmúlt 15 évben a nyaranta megrendezett somogyfaiszi Óskohász Táborok (THIELE 2012) alkalmával rendszeresen égettünk faszén 1-3 m³-es boksákban, hogy fedezzük a táborban a kohósításokhoz és kovácsoláshoz szükséges fészéni igényt. A tábori faszénégetések során tettünk néhány alapvető megfigyelést, melyek alapján felállítható volt néhány „ökölszabály” az ilyen kisméretű boksákkal zajló faszénégetési technológiára vonatkozóan: 1 m³ fából kb. 1mázsa faszén keletkezik, és a szükséges időtartam annyi nap, ahány m³-es a boksa. Azonban a tábori körülmények (kevés idő, vizes faanyag, gyakran kigyulladó boksa, stb.) nem tették lehetővé a technológia tökéletes kivitelezését, pontos dokumentálását, és a részletes méréseket.

2. Célok

Az iparégészti adatok alapján egy kisméretű boksában maximális kihozattal faszenet égetni.

A kísérlet során mérjük a:

- felhasznált faanyag mennyiségét,
- felhasznált faanyag minőségét (fafaj, nedvességtartalom, méret),
- időtartamokat,
- hőmérsékleteket a boksa belsejében,
- keletkezett faszén mennyiségét,
- le nem szenült fahasábok mennyiségét,

hogy lássuk, a korabeli faszénégetők ideális körülmények között mennyi idő alatt mennyi faszenet állíthattak elő egy ilyen kis boksában.

3. Kísérleti eredmények

3.1. A felhasznált faanyag

A kísérletekhez pontosan 2 m³ (normál m³) tölgyfát (főleg kocsányos és kocsánytalan tölgy kevés csertölgygel) használtunk fel. A 2 m³-es térfogat úgy értendő, hogy az előző év tavasszal felhasogatott faanyagot egy 250x100cm-es alapterületű, 80cm magas téglatest alakban raktam fel száradni (ld. 2. ábra), amely így a boksa rakás előtt kb. egy teljes évet száradhatott. A farakás nem érintkezett alulról a talajjal, abból nedvességet nem vehetett fel, alá volt deszkázva, felül pedig a sarkainál lenehézékelt ponyvával volt letakarva, így a csapódó nedvességtől is védett volt.

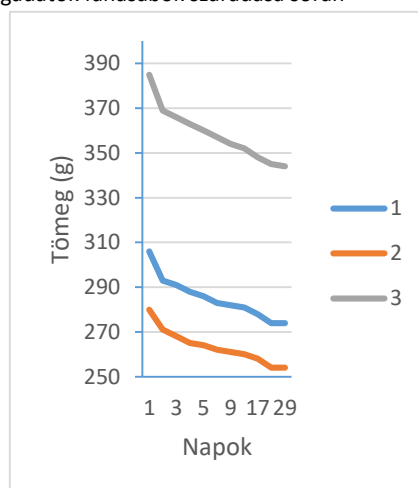


2. Ábra: Téglatest alakban tömören felrakott 2m³-nyi faanyag (250x100x80cm-es befoglaló méretekkel)

A fahasábok kb. fél kg tömegűek és kb. 25x 5x5cm-es befoglaló méretűek voltak. Azért, hogy a felhasználandó faanyag nedvességtartamát meghatározhassam, a farakásból három fahasábot vettem ki és szárítottam kb. 20°C-os szobában alacsony, 30-40%-os páratartalom mellett. Kezdetben naponta, majd pár naponta megmértem a fahasábok tömegét, az eredményeket az 1. táblázat és a belőle generált diagram foglalja össze. A kísérlet a tömegcsökkenés befejezéséig, azaz a faanyag és a levegő nedvességtartalma közti egyensúly beállításáig tartott. A mérések alapján a fahasábok kb. 11%-nyi vizet tartalmaztak a száraz, fűtött szobában elérhető légszáraz állapothoz képest.

1. Táblázat és diagram: Tömegadatok fahasábok száradása során

Nap	Fahasábok tömege (g)		
	1	2	3
1	306	280	385
2	293	271	369
3	291	268	366
4	288	265	363
5	286	264	360
7	283	262	357
9	282	261	354
11	281	260	352
17	278	258	348
23	274	254	345
29	274	254	344
Víztartalom	11,7%	10,2%	11,9%
Átlagos víztartalom	11,3%		



Technológiai szempontból a felhasznált faanyag nedvességtartalma lényeges adat. Az említett önkényesen definiált kb. 11%-os víztartalom nem azonos a faanyagnak a szakirodalomban szokásosan definiált nedvességtartalmával. A

leggyakrabban használt és u-val jelölt nettó fanedvesség azt jelenti, hogy a fában található teljes vízmennyiséget az abszolút száraz (laboratóriumi körülmények között kb. 100°C-on teljesen kiszáritott) faanyag tömegéhez viszonyítjuk és %-ban fejezzük ki, azaz $u = \frac{m_n - m_0}{m_0} * 100$, ahol m_n a nedves tömeg, m_0 pedig az abszolút száraz tömeg (SULINET_01).

Az abszolút száraz faanyag nedvességtartalma 0%, a szobában szárítotté 8-12%, a szabadban szárítotté (ún. légszáraz) 12-18%. Irodalmi adat alapján, a tölgyfa nedvességtartalma 20°C-os, 30%-os páratartalmú szobában mindössze 7% körül van (FAINFO_01). Ez alapján az 1. táblázatban bemutatott szárítási kísérletben felhasznált fahasábok abszolút száraz tömege rendre 256g, 237g és 321g, így pedig boksába rakott légszáraz faanyag nedvességtartalma kb. 19,5%, 18,1% és 19,9%, azaz átlag 19,2% volt. Ez az érték jó összhangban van az irodalmi adatokkal.

A kísérlet szempontjából a faszénkihozatal későbbi számítása miatt lényeges kérdés, hogy valahogyan definiáljuk a felhasznált faanyag mennyiségét. Én a felrakott fahasábok 2m³-es térfogatát adtam meg, mert ez jól mérhető volt. A farakás bizonytalan térkitöltése miatt a felhasznált faanyag pontos térfogata csak a sűrűség és a tömeg ismeretében lenne meghatározható, de ez az adat a gyakorlatban amúgy sem lenne releváns.

A felhasznált faanyag össztömege a kihozatszámítás miatt még érdekes. A felhasznált faanyag sűrűségével kapcsolatban a száraz tölgyfára vonatkozó (valószínűleg légszáraz állapotra értelmezve) 690kg/m³-es sűrűségi adatot tekinthetjük kiindulópontnak (SULINET_02). Bár a boksába rakott faanyag össztömegét nem mértem le, kb. fél m³-nyi felrakott fa tömegének megméréseivel meghatároztam, hogy a légszáraz fahasábokból felrakott farakás jó térkitöltés mellett kb. 450kg/m³-es sűrűségű. Ez alapján a boksába kb. 900kg-nyi faanyag került.

3.2. A faszénégető kísérlet leírása és technológiai megfigyelések

03.19.

A boksa helyéül a bátori kovácműhelyem udvarán, a hegyoldal egy lankás, fáktól és aljnövényzettől megtisztított részét választottuk ki, ahol kevés földmunkával egy kb. 3x3m-es sík területet alakítottunk ki (a kikerült föld egy része később jól használható volt a boksa betakarására).

A terület közepén egy leszúrt karó körül vízszintesen, négyzetesen rakva elkezdtük felépíteni az boksa közepén lévő, a begyűjtést szolgáló ún. égési csatornát, amelynek belső mérete kb. 15x15cm-es lett. A kb. 30-40cm magasan felépített égési csatornát állított fahasábokkal raktuk körbe (ld. 3. ábra kisképei), majd amikor elértük a boksa hozzávetőlegesen végleges alsó átmérőjét az égési csatornát tovább magasítottuk, majd újabb és újabb sorban raktuk köré a fahasábokat. Összesen 5 sorból épült fel a nagyjából félgömb alakú boksa, amelynek alsó átmérője végül 240 cm-esre adódott 100 cm-es magasság mellett. Ez kb. 3m³-es térfogatnak felel meg, ami a korábban 2m³-es téglatest alakban rakott fahasábok lazább térkitöltése miatt adódott így (pedig törekedtünk arra, hogy minél tömörebbre rakjuk meg a boksát, amely jó térkitöltés mellett 100cm-es magasság esetén kb. 200cm-es átmérőjűre jött volna ki). A farakásban a legelső sor kb. 75°-os, a következő sorok pedig rendre kb. 60°, 45°, 30° és 15°-os hajlásszögűek voltak.



3. Ábra: A faszénégető boksa építése, füstöltetése és kibontása

A farakást ezután betakartuk avarral, amelynek fő funkciója az, hogy a felületet véglegesen beborító földtakarásból a föld ne peregjen be a fahasábok közötti nagy hézagokba. Az avarrétegre tehát végül száraz földtakaró került kb. 2-3cm-es vastagságban, alulra, ahol a boksa meredeksége nagyobb volt vastagabb, kb. 5-10cm-es földtakarás került. A földtakaró két fontos funkciója a boksa levegőtől való elzárása és a hőszigetelés.

A boksa alján 120°-os kiosztással három levegőző nyílást hagytunk (kb. 20x20cm-es, avar és földtakarástól megbontott nyílásokkal), ezek a begyújtás után az égési folyamat gyorsabb beindulását segítik elő.

A boksát felülről, a nyitott égési csatornán bedobált égő fadarabokkal és parázzsal gyújtottuk meg az első nap délután 16:00-kor. A begyújtás után kb. fél óra elteltével fahasábokkal teletömtük az égési csatornát majd avarral és földdel takartuk be, további másfél óra elteltével pedig betapasztottuk az alsó levegőző nyílásokat is. A boksa ekkor már erősen füstölt a tetején, a füst színe a sok vízgőztől teljesen fehér volt (kezdetben, amíg a boksa felülete hideg, a felül kiáramló füst a földtakaráson szépen lefolyik egészen a földre, majd a felszín melegezésével a füst felfelé kezd már szállni). A közelgő éjszaka miatt nem akartuk meggyorsítani az égési folyamatot, így a boksa földtakarását sehol sem bontottuk meg, nem ütöttünk rajta füstölő lyukakat, a füst csak a földtakarás apróbb hézagjain át távozott.

03.20.

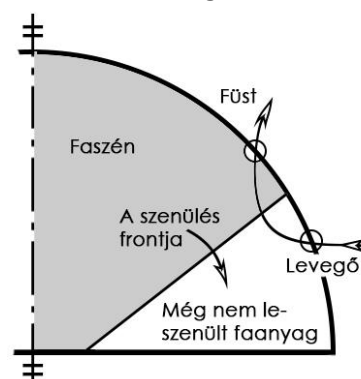
A boksa térfogata az égés során csökken, így időnként tömöríteni szükséges. Az első éjszaka folyamán a boksát kétszer tömörítettük felülről. Az első nap reggelre a boksa hegy felőli oldala a folyamatosan, de enyhén fújó oldalszél hatására majdnem teljesen leszenült, így a levegő bejutását teljesen meggátolando az az oldal vastag földtakarást kapott, a boksa többi részén viszont nagyjából a magasság közepén füstölő lyukakat szúrtam. Az ezeken át távozó füst színe még fehér volt, sok vízgőzt tartalmazott. A boksa tetejét megszurkálva már érezhetően ropogott a kialakult faszén, és az itt ütött lyukakon át is kék füst szívárgott. A kéken füstölő lyukakat a boksán már le lehet zárni, mert ez a szín arra utal, hogy a füst nem tartalmaz már vízgőzt, a hőmérséklet elég magas ahhoz, hogy a leszenülési folyamat levegőtől teljesen elzárva is befejeződjön.

Itt térnék ki arra, hogy pontosan mi is történik a boksa belsejében, hogyan keletkezik faszén a berakott faanyagból, mert ezeknek a folyamatoknak az ismerete sokat segít a technológia helyes lebonyolításában. A faanyag a hőmérséklet emelkedésével először a nedvességtartalmát veszíti el, majd elindul az elgázosodása, amelynek során a fát alkotó lignin és cellulóz molekulák a hőbomlás során rövidebb szénláncú, illékony gázokká krakkolódnak. Ez a folyamat kb. 230°C alatti hőmérsékleten endoterm, azaz hőfogyasztó. Elegendő oxigén jelenlétében ezeket a fagázokat lehetne meggyújtani és ezeket látnánk láng formájában égni, azonban a boksa esetében csak minimális mennyiségű levegő jut be, a felszínén pedig nincs elegendően nagy hőmérséklet a gyúlékony fagázok belobbanásához. Megjegyzem azonban, hogy a boksából kiáramló fagázok, amikor már nincs bennük sok vízgőz bizony meggyújthatók és egy darabig égnek is, de ezzel nem szoktunk szórakozni. 230°C feletti hőmérsékleten a faanyag hőbomlása exotermmé, azaz hőtermelővé válik, így a szenülési folyamat önfenntartó lesz.

A hőbomlás exoterm kémiai folyamatai a 230°alatt zajló endoterm folyamatok hőigényét is fedezni tudja, így a gyakorlati megfigyelések alapján is elmondható, hogy helyes technológia esetén a boksában keletkezett faszénnek csak nagyon kis része izzik el és tulajdonképpen csak a boksa begyújtása igényel plusz hőbevitelt, az égési csatornába bedobált égő fa és parázs fog részben elizzani és csak a begyújtásnál van szükség levegő bevezetésére. A boksában a begyújtás „hőökete” után a faanyag szenülési folyamata, endoterm és exoterm hőbomlása a levegőtől elzárva addig zajlik, míg csak a szilárd faszénváz nem marad vissza.

Ha a boksa földtakarását lyukakkal helyenként megbontjuk, akkor az alul lévő lyukakon levegőbeáramlás, a magasabban lévő lyukakon pedig a füstgázok, a füst gyors kiáramlása figyelhető meg. A boksa felületéhez közeli, a földtakaró alatt kb. 10-20cm-es mélységig (a mi kis boksáink esetén hozzávetőlegesen kb. ilyen mélyre jut be a lyukakon a levegő) az alsó és felső lyuksor között huzat alakul ki (ld. a 4. magyarázó ábrát), ennek hatására ebben a térrészben gyorsítható a szenülési folyamat, azonban ilyenkor a bejutó levegő hatására részben elizzik a boksában kialakult faszén.

A hőbomlási folyamatok megszűnésével a boksában a faanyag szenülése befejeződik. Ekkor hagyni kell, hogy a faszénkupac elkezdjen kihűlni. Ilyenkor meg kell óvni a már kialakult faszén az elizzástól, ezért gondosan, légmentesen be kell takarni földdel, amit akár be is lehet locsolni vízzel, hogy egy tömörebb, a levegőt még kevésbé áteresztő kéreggé álljon össze. A földtakaró belocsolása a boksa hűlését is elősegíti, mert a víz párolgása hőt von el. Ezen kívül a kihűtési szakaszban a boksa tetejébe fűrt lyukon keresztül a boksa belsejébe is lehet némi vizet önteni, amely elpárologva szintén hőt von el (Szendrőn, ahol még ma is égetnek faszén, a faszénégetők elmondása alapján a kihűtési szakaszban a 60 erdei m³ fából megrakott boksákba 300 liter vizet öntenek). A boksát ez után hagyni kell lejjebb hűlni, hogy a kibontáskor minél kevesebb faszén kezdjen el beizzani.



6. ábra: Szenülés a boksában és a lyuksorok közötti huzat

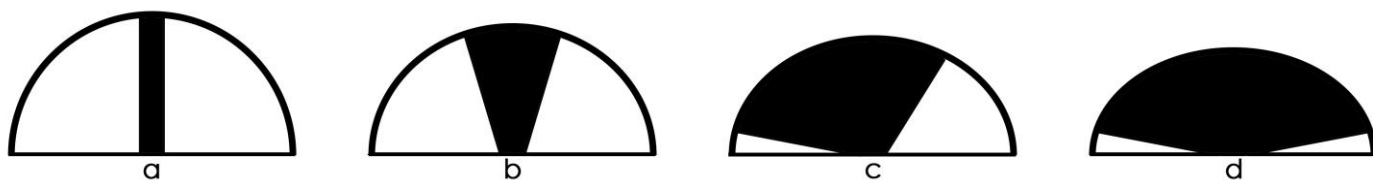
Az első nap végére a boksa hegy felőli oldalán teljesen megszűnt a füstölgés, ez az oldal egészen a talajszintig leszenült, folyamatos tömörítés mellett újabb földtakarásokkal borítottam be. A boksa többi része erősen füstölög, de éjszakára az egész boksa földtakarást kapott az égési folyamatot lassítandó.

03.21.

A második éjszaka csak egyszer ellenőriztem és tömörítettem a boksát. Sajnos a hegy felőli oldalon a földtakaró alul, két, kb. tenyérnyi felületen megbomlott és itt bejutott a levegő, és mire ezt hajnalban észrevettem, a már kialakult faszénből valamennyi elizzott (de a faszénvesztéseget csupán pár kg-ra saccolom).

A második nap reggelén a boksa hegy felőli oldala ismét egy újabb réteg friss földtakarást kapott, amit vízzel be is locsoltam, így a felvizezett agyagos földből egy tömör kéreg jött létre ezen az oldalon. A nap folyamán a völgy felőli oldalon egyre lejjebb terjed a szenülés frontja már csak az alsó részen szükséges füstölő lyukakat hagyni, végül pedig a nap végére ez az oldal is teljesen kifüstöli magát. Így a begyújtástól összesen kb. 52 óra elteltével a boksa füstölgése megszűnik és szurkálásra mindenütt ropog a faszén a földtakaró alatt. A harmadik éjszakára a boksa vastag földtakarást kap. Az éjszaka folyamán egyszer ellenőrzöm csak a boksát, legalul néhány kisebb beizzást lehet felfedezni, ezeket tömörítés után újra betakarom földdel.

A boksában a szenülési folyamat a függőleges égési csatorna mentén hengeresen indul meg és terjed felülről lefelé, egy fokozatosan szétnyíló kúppalást mentén, amely végül a talajszintet nem éri el, hanem 180 fok helyett nagyjából 150°-os kúpszögnél megáll. Emiatt a boksa legalján a kerület mentén mindig lesznek olyan fahasábok, amelyek nem szenülnek le. Ezeket újra be lehet tenni egy következő boksába. A mi esetünkben a boksa az enyhe oldalszél hatására asszimmetrikusan szenült le, a hegy felüli oldala már az első nap végére, míg a völgy felőli oldala csak a második nap végére készült el, ahogyan azt az 5. ábra mutatja.



5. Ábra: A kísérleti boksában lezajlott szenülési folyamat. a) és b) a begyújtás napján, c) a begyújtást követő nap végén, b) két nappal a begyújtás után. Jobbra a hegy felőli oldal.

03.22.

A harmadik nap reggel a boksa földtakarását belocsolom vízzel, amit a délutáni bontásig még kétszer megismétlek. A boksa nem füstöl, csak a bevezetett földtakaró gőzölög. A boksát délután 16:00-kor bontom ki, azaz nagyjából két nap füstölés és egy nap hűtés után.

A kibontás során először gondosan letakarítottam a földborítást, aztán alulról kikaparásztam a le nem szenült, még enyhén füstölgő fahasábokat (ezeket „csülöknek” is nevezik), amiket egy külön kupacba dobáltam össze, hogy később ezek tömegét is pontosan lemérhessem. A megtisztított faszénkupacot ez után az egyik oldalra kihúzva szétterítettem a földön, hogy a faszén gyorsan lehűlhessen és az esetleg még felizzó darabokat könnyen elolthassam egy kis locsolással.

A boksa kibontása előtt még lemértem a magasságát, ami a kezdeti 1m-ről 70cm-re csökkent (az alsó átmérő nem változott). A bontás közben jól megfigyelhető volt, hogy a fahasábok az eredeti alakjukat és helyzetüket megőrizve szenesedtek el, tulajdonképpen a boksa ugyanúgy nézett ki, mint amikor még fahasábokból állt csak a magassága csökkent némileg és a fahasábok elszenesedtek (ld. 6. ábra).



6. ábra: A fahasábokból megrakott boksa (balra) és a leszenülés után kitakart boksa (jobbra).

A kihűlt faszenet pár órával később beszákoltam. A föltakarást átszítva is összegyűjtöttem a faszenet (ezzel kb. kétharmad zsáknyi faszén gyűlt még össze). Az zsákok tömegét szobamérlegre állva egyesével lemértem. Összesen 223kg faszenet sikerült kinyerni. A le nem szenesedett fahasábok össz tömege 32kg volt. A faszenes zsákok 120 literes sittes zsákok voltak, átlagosan 17kg tömegűek, így térfogatban kifejezve összesen 13 zsáknyi faszén keletkezett. Ha tehát a felhasznált 900kg-nyi faanyagot tekintjük, akkor kb. 25%-os volt a faszénkihozatal. Ha pedig a leszenült és le nem szenült faanyag arányát nézzük, akkor kb. 87%-os hatásfok volt elérhető. A már említett szendrői faszénégetők 60 erdei m³ fából megrakott boksákból kb. 9 tonna faszenet nyernek, és 3-5 köbméternyi le nem szenült faanyag marad vissza.

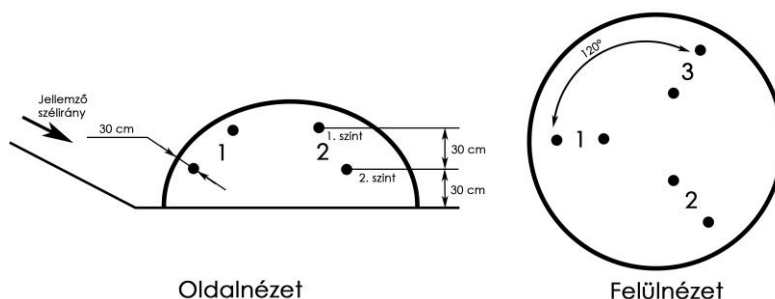
3.3. Hőmérsékletmérések

A boksa hőmérsékletét Ni-CrNi termopárral felszerelt hőelemmel, a felszíntől kb. 30cm-es mélységben négy alkalommal mértem meg két szinten, szintként három mérési pontban kb. 120°-os kiosztással. A mérési eredmények a 2. táblázatban láthatóak.

A hőmérsékletmérési eredményekből látszik, hogy a hőmérséklet maximális értéke 500°C alatt marad. Az első nap a boksa hegy felőli oldalának hőmérséklete magasabb volt (kb. 400-450°C-os), mint a völgy felőli (kb. 200-300°C-os), a második napon viszont már a völgy felőli oldal volt melegebb (kb. 350-400°C-os), a hegy felőli teljesen leszenült oldal pedig a vastag földtakarás alatt némileg hűlni kezdett (350-400°C-ra). A bontás előtt a boksa hőmérséklete egyenletesen 200-250°C körül volt.

2. Táblázat: Hőmérsékletmérési eredmények

Óra	Mérési pontok					
	1-es szint			2-es szint		
	1	2	3	1	2	3
4	315	370	345	45	70	65
24	420	340	325	460	180	195
48	385	395	405	355	415	360
72	255	230	245	260	215	235



7. Ábra: Hőmérsékletmérési pontok a boksában (jobbra a hegy felőli oldal, balra a völgy felőli oldal)

4. Összefoglalás

A középkori boksás faszénégető rekonstrukciós kísérlet eredményeit összefoglalva elmondható, hogy a régészeti feltárásokon beazonosított faszénégető boksahelyek alapján rekonstruált kisméretű boksában, 2 köbméternyi felrakott fahasábból, amelynek össz tömege kb. 900kg volt, a kb. fél kg-os fahasábok nedvességtartalma pedig kb. 19% volt, kb. 25%-os kihozatal mellett 87%-os hatásfokkal (32kg le nem szenült fahasáb mellett) 223kg faszén keletkezett 52 óra füstölési és 20 óra kihűtési időtartammal.

Irodalom

- GÖMÖRI 2000, Gömöri János: Az avar kori és Árpád-kori vaskohászat régészeti emlékei Pannóniában (Magyarország iparrégészeti lelőhelykatasztere I. Vasművesség). The archeometallurgical sites in Pannonia from the Avar and early Árpád-period (Register of industrial archeological sites in Hungary 1. Ironworking). Sopron, 2000.
- TÖRÖK 2011, Török Béla: Vasérc, vasbuca, vastárgy. Az első magyar vaskohászok műhelyei a Kárpát-medencében. Bányászattörténeti Közlemények XII/VI. évf. 2 (2011) 3–29.
- TÖRÖK 2010, Török Béla: Archeometallurgia, a múlt kohászata, a jelen műszaki vizsgálataival, a jövő régészettudományáért. Gesta IX (2010) 25–29.
- GÖMÖRI 1980, Gömöri János: Frühmittelalterliche Eisenschmelzöfen von Tarjánpuszta und Nemeskér, Acta Archaeologica Tomus évf. 32 (1980) 321-349
- THIELE 2012, Thiele Ádám: Középkori Vasipari Park és Óskohász Tábor Somogyfajszon, Bányászati és Kohászati Lapok – Kohászat 145(2), 2012, pp. 43-44
- SULINET_01: <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/faipar/faanyagismeret/a-nedvessegtartalom-merese-a-netto-es-brutto-nedvessegtartalom-fogalma/a-fanedvesseg-tipusai>
- SULINET_02: <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/epiteszet/epitoanyagok/az-altalanos-vizsgalatok-faanyagokra-alkalmazott-valtozatainak-tartalma-modszerei-mente/a-faanyagok-suruseg-testsuruseg-vizsgalata>
- FAINFO_01: <http://www.fainfo.hu/a-faanyag-nedvessegtartalma-i/>